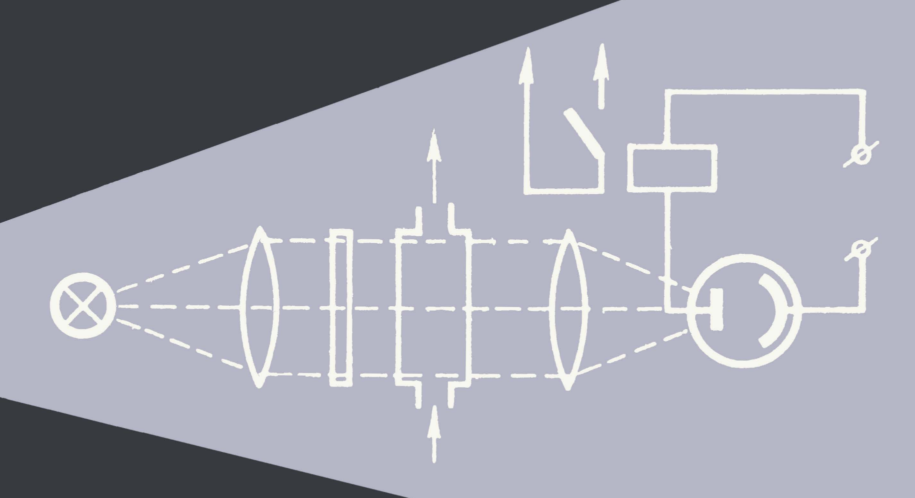
М. М. Гринштейн и Л. М. Кучикян

ФОТОРЕЛЕ В РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ





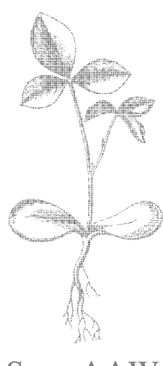
ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 533

М. М. ГРИНШТЕЙН и Л. М. КУЧИКЯН

ФОТОРЕЛЕ В РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.318.58
Г85

В книге описаны различные схемы и конструкции фотореле, которые могут быть использованы радиолюбителями в их работе по внедрению радиоэлектроники в народное хозяйство.

Рассчитана книга на подготовленных радиолюбителей.

Гринштейн Марк Михайлович и *Кучикян Леонид Михайлович*

Фотореле в радиолюбительской практике.
М.—Л., издательство „Энергия“, 1964.
72 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 533).
Тематический план 1964 г., № 338

Редактор *Р. Е. Елисеев* Техн. редактор *Н. А. Бульдяев*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 19/II 1964 г. Подписано к печати 30/IV 1964 г.
Т04303 Бумага 84×108 1/32 3,69 п. л. Уч.-изд. л. 4,8
Тираж 70 000 экз. Цена 19 коп. Заказ 1090

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Создание материально-технической базы коммунизма немыслимо без осуществления в массовом масштабе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Комплексная автоматизация в свою очередь требует интенсивной разработки и производства новых средств и приборов автоматики, базирующихся на новейших достижениях науки и техники. За последние десятилетия в общем комплексе средств автоматики все больший удельный вес начинают занимать фотоэлектрические приборы и устройства, что обусловлено разработкой и внедрением в массовое производство ряда новых типов фотоэлектрических датчиков, отличающихся высокой чувствительностью, стабильностью, надежностью и практически неограниченным сроком службы. Это главным образом относится к полупроводниковым фотоприемникам, таким как фотосопротивления, фотодиоды и фототриоды. Применение таких фотоприемников в сочетании с новейшими достижениями радиоэлектроники и полупроводниковой техники позволяет создавать сравнительно простые, компактные, удобные в эксплуатации приборы фотоэлектрической автоматики, способные решать сложнейшие задачи в процессе автоматического контроля регулирования и управления современным производством.

Особое место среди приборов фотоэлектрической автоматики занимают фотореле. Пожалуй, нет такого производственного процесса, для контроля и регулирования которого их нельзя было бы применить. Наряду с использованием фотореле в системах автоматического контроля и регулирования они находят широкое применение для целей «малой» автоматизации, т. е. для контроля и регулирования отдельных параметров технологического процесса. Такие операции, как разбраковка и счет изделий на конвейере, регулирование уровня, включение и выключение освещения, автоматическое открывание дверей и т. п., могут с успехом осуществляться с помощью фотореле. Неоценимую помощь производству в деле разработки и внедрения фотоэлектрических средств «малой» автоматизации могут оказать радиолюбители, в творчестве которых разработка и внедрение в народное хозяйство методов и приборов радиоэлектроники занимают большое место.

Для привлечения широкого круга радиолюбителей к разработке и внедрению в производство фотореле и написана эта книга, в которой даются описания схем и конструкций фотореле для автоматического контроля, регулирования и управления процессами производства. Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей и читателей, интересующихся вопросами фотоэлектрической автоматики.

Авторы

ГЛАВА ПЕРВАЯ
ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ФОТОРЕЛЕ

1. Классификация фотореле

В общем случае реле называют такое устройство, в котором при достижении входной величиной определенного значения выходная величина изменяется скачкообразно. Ввиду того что фотореле представляет собой устройство, на входе которого включен фотоприемник, а на выходе электромагнитное реле, это определение распространяется также и на фотореле. Входной величиной фотореле является интенсивность, частота или фаза модуляции светового потока, падающего на фотоприемник. Выходные величины могут быть различными в зависимости от назначения фотореле.

Все схемы фотореле можно разделить на однолучевые и двухлучевые. В однолучевых схемах осуществляется непосредственное преобразование входной величины в выходную. В двухлучевых же схемах производится сравнение входной величины измерительного канала с входной величиной эталонного канала. Срабатывание такого фотореле происходит в том случае, если разность сравниваемых входных величин превышает порог срабатывания. Применение двухлучевых схем повышает стабильность работы фотореле.

По способу воздействия лучистого потока на фотоприемник все существующие типы фотореле можно разделить на два основных класса. К первому классу относятся фотореле, реагирующие на изменение интенсивности лучистого потока, а ко второму — фотореле, реагирующие на изменение частоты и фазы модуляции лучистого потока. Фотореле первого класса используются как в режиме светового барьера, так и в фотометрическом режиме. При работе в режиме светового барьера лучистый поток, падающий на фотоприемник, прерывается проходящим изделием, которое образует «барьер» на его пути. В фотометрическом режиме лучистый поток непрерывно воздействует на фотоприемник и может изменяться под действием контролируемого параметра. Фотореле срабатывает при достижении этим потоком определенного значения (максимального или минимального).

Как в режиме светового барьера, так и в фотометрическом режиме фотореле могут освещаться либо специальным источником, либо источником может быть сам контролируемый объект, например раскаленный металл. В случае применения специального источника освещение фотоприемника может осуществлять-

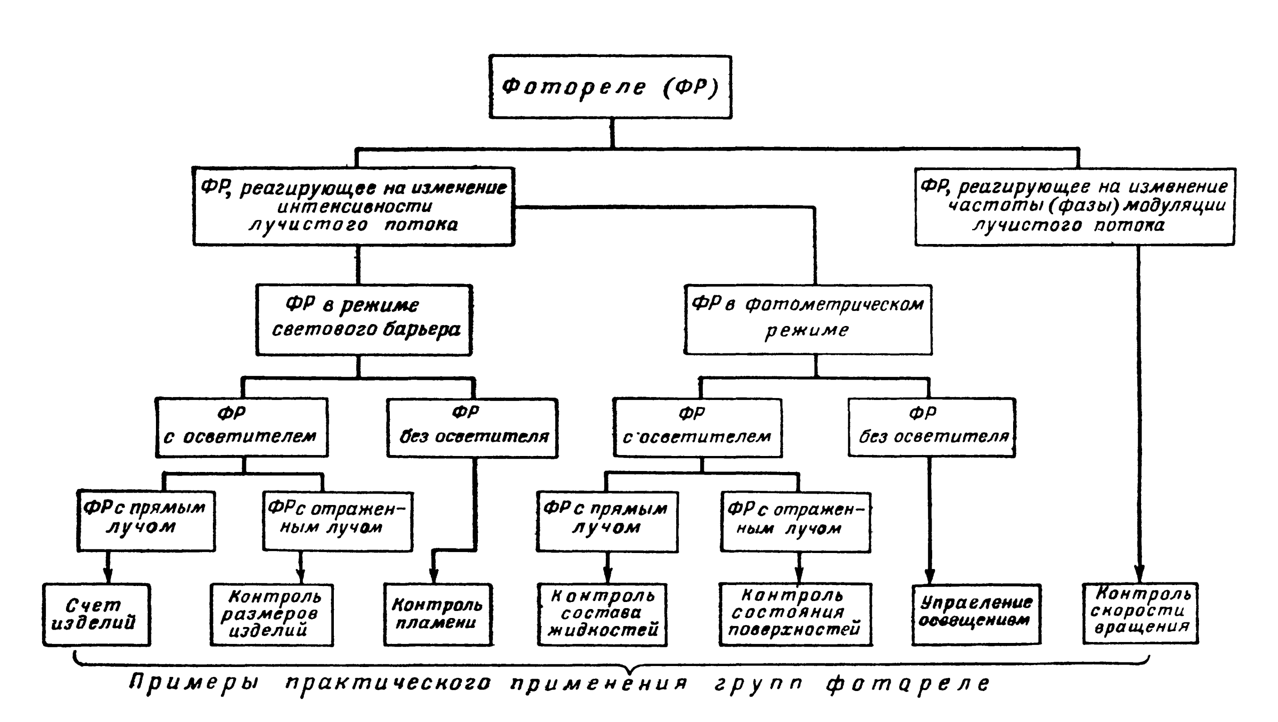


Рис. 1. Классификация фотореле.

ся либо непосредственно, либо отраженным от контролируемого объекта светом Классификация фотореле приведена на рис. 1.

Особенностью работы фотореле, реагирующих на изменение частоты или фазы модуляции светового потока, является нечувствительность их к колебаниям интенсивности светового потока, что исключает необходимость применения стабильных источников питания осветителя. Это происходит потому, что порог срабатывания таких реле зависит не от интенсивности, а от частоты или фазы модуляции светового потока.

Фотореле, реагирующие на изменение интенсивности светового потока, в случае использования их в режиме светового барьера также нечувствительны к нестабильности источника излучения, так как порог срабатывания этих реле выбирается обычно намного ниже нижнего предела возможных колебаний интенсивности светового потока. В случае использования фотореле этого класса в фотометрическом режиме непостоянство светового потока от осветителя будет восприниматься фотоприемником как изменение контролируемого параметра, что приведет к ложным срабатываниям фотореле. Вследствие этого фотореле данной группы должны отличаться высокой стабильностью осветителя. Нестабильность фотоприемника оказывает такое же влияние на работу фотореле, как и нестабильность осветителя, поэтому на стабильность фотоприемников и условия их эксплуатации следует также обращать серьезное внимание.

2. Элементы оптического тракта фотореле

Лампы накаливания являются наиболее распространенными, дешевыми и удобными источниками излучения. Подводимая к лампе накаливания электрическая энергия, превращаемая в основном в инфракрасное излучение, расходуется на тепловые потери, и лишь небольшая ее часть создает видимое излучение. Лампы накаливания с вольфрамовой нитью дают непрерывный спектр излучения, лежащий в пределах 0,38—2,5 *мк*. Положение максимума спектральной светимости определяется температурой светящегося тела и при ее увеличении смещается в коротковолновую часть спектра.

В фотореле наиболее часто применяются лампы типа СЦ, отличающиеся небольшими размерами, компактным светящимся телом и невысоким рабочим напряжением. К этой же группе ламп относятся широко распространенные миниатюрные лампы типа Мн и автомобильные лампы типа А

Лампы накаливания дают расходящиеся пучки света. Освещенность фотоприемника при этом убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника. Во многих случаях фотоприемник приходится располагать на большом расстоянии от источника. Для лучшего использования энергии излучения и создания достаточной для работы фотореле освещенности фотоприемника необходимо преобразовывать расходящиеся пучки света в сходящиеся или почти параллельные. С этой целью применяются оптические системы формирования световых пучков, которые можно разделить на три группы: 1) линзовые системы, в которых лучи проходят через преломляющие среды — линзы; 2) отражательные системы, в которых поток от источника излу-

чения отражается от одного или нескольких отражателей — зеркал; 3) смешанные системы, в которых сочетаются линзовые и отражательные системы.

Таким образом, основными элементами формирования световых пучков являются линзы (главным образом собирательные) и зеркала. Для изменения направления светового пучка в целом обычно используются плоские зеркала, а при необходимости изменения направления пучка на 90° (наиболее частый случай) используют и призмы полного внутреннего отражения. Для регулирования ширины светового пучка применяются диафрагмы с круглым или прямоугольным (щелевым) отверстием.

В некоторых случаях бывает необходимо, чтобы фотореле реагировало на свет определенного спектрального состава. Для этого либо специально подбирают избирательный фотоприемник, либо для выделения необходимого спектрального участка применяют светофильтры. Наибольшее распространение получили светофильтры из стекла, окрашенного по всей массе молекулярно растворенными или коллоидными красителями. Стеклянные светофильтры обладают термической стойкостью, стабильностью спектральных характеристик во времени и дают возможность массового изготовления фильтров с одинаковыми характеристиками.

В настоящее время нашей промышленностью выпускается набор цветного стекла 102 различных марок. Стекла из этого набора и их различные сочетания с успехом используются в качестве светофильтров для выделения различных участков спектра. Образцы таких стекол имеют вид квадратных полированных пластин площадью 80×80 или 40×40 *мм* и толщиной от 2 до 6 *мм*.

Нужные светофильтры могут быть легко изготовлены и своими силами. Для этого используют желатиновые пленки и окрашивают их органическими красителями. Окрашенную пленку помещают между двумя защитными стеклами. Желатиновые фильтры можно изготовить на любой участок спектра, лежащий в области пропускания стекла, подбирая соответствующие красители или их комбинации с уже известными спектральными характеристиками. Недостатком желатиновых светофильтров является их выцветание при интенсивном облучении.

В некоторых случаях в качестве светофильтров, пропускающих инфракрасное излучение и задерживающих видимое, применяются тонкие слои (толщиной в десятые и сотые доли миллиметра) эбонита без наполнителей, черного целлофана, асфальтового лака на стекле и т. п.

3. Устройство фотореле

Фотореле состоит обычно из осветителя, фотоголовки (головки), усилителя фототока и выходного электромагнитного реле. Осветителем фотореле называется устройство, содержащее источник излучения — лампу накаливания и оптические элементы, ограничивающие и формирующие узко направленный пучок света. Лампа накаливания и оптические элементы вмонтированы в металлический тубус, укрепленный на основании с помощью шарнира. Поворот тубуса в вертикальной плоскости бывает не-

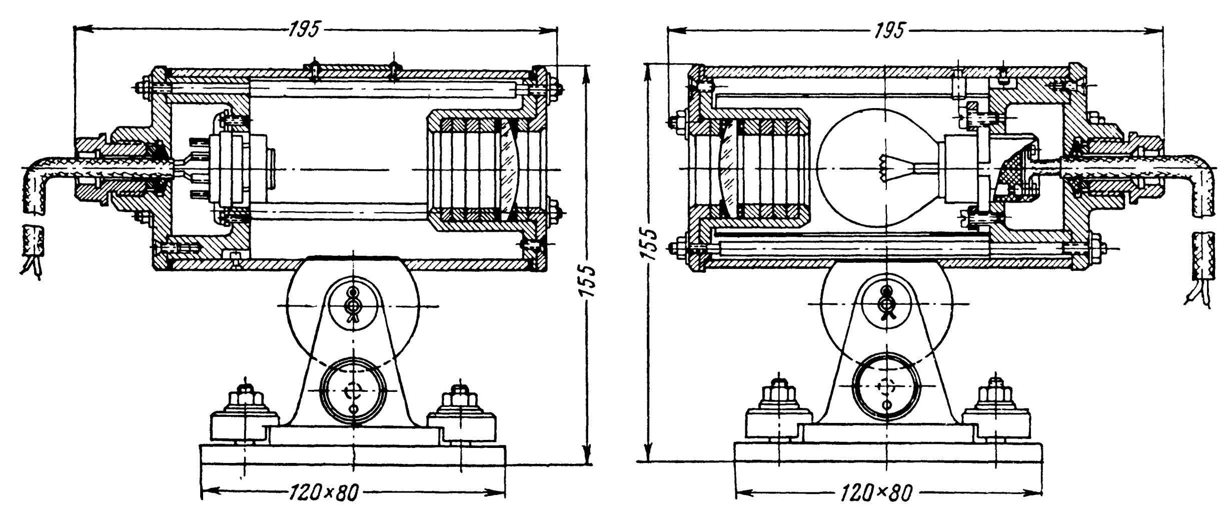


Рис. 2. Конструкция фотоголовки и осветителя фотореле промышленного типа.

обходим для подбора положения светового пучка в процессе установки фотореле. Для этих же целей осветители снабжаются иногда специальным визирным устройством. Для точной установки нити лампы в фокусе линзы (объектива) иногда предусматривается возможность перемещения лампы вдоль оси осветителя. Конструкция фотоголовки и осветителя фотореле промышленного типа показана на рис. 2.

Головка фотореле служит для приема светового потока и концентрирования его на светочувствительной поверхности фотоприемника. Конструкция ее имеет много общего с конструкцией осветителя. В тубус головки вмонтированы оптические элементы и фотоприемник. Внутренняя поверхность тубуса окрашена в черный цвет для предотвращения попадания на фотоприемник рассеянного света. Тубус головки, так же как и тубус осветителя, можно поворачивать в вертикальной плоскости. В тех случаях, когда фотореле работает в условиях повышенных температур, значения которых превышают допустимые для применяемого типа фотоприемника, предусматривают воздушное или водяное охлаждение.

В схемах фотореле могут применяться различные усилители фототоков. Однако применение усилителя необходимо лишь тогда, когда ток или э. д. с. фотоприемника недостаточны для срабатывания выходного реле. Но и в этом случае иногда могут быть использованы схемы ступенчатого включения электромагнитных реле. Такая схема предусматривает включение высокочувствительного реле в качестве нагрузки фотоприемника. Это реле, называемое промежуточным, управляет цепью включения более мощного выходного реле. Применение в качестве фотоприемников фотосопротивлений, фотодиодов и фототриодов позволяет обойтись без усиления фототоков и создать простые и компактные конструкции фотореле с одним выходным реле.

В ряде случаев работа фотореле без усилителя фототоков невозможна. Это бывает тогда, когда в качестве фотоприемников используются фотоэлементы с внешним фотоэффектом, когда необходимо применить относительно мощные выходные реле, а также когда нужно усилить переменную составляющую фототока. В схемах фотореле могут использоваться усилители как постоянного, так и переменного тока. Однако использование усилителей постоянного тока ограничено так называемым «дрейфом нуля», т. е. изменением постоянной составляющей выходного тока при неизменном уровне сигнала на входе усилителя. Дрейф нуля особенно заметен при работе с низкими уровнями входных сигналов.

Усилители фототоков по типу применяемых усилительных элементов подразделяются на тиратронные, ламповые, полупроводниковые и магнитные. Наибольшее практическое применение получили ламповые усилители, так как они обладают стабильными характеристиками и обеспечивают четкую работу фотореле в самых жестких эксплуатационных условиях.

Полупроводниковые (транзисторные) усилители наряду с преимуществами, связанными с их компактностью, обладают и некоторыми недостатками, ограничивающими их применение. Самым существенным их недостатком является зависимость характеристик усилителей от температуры. Тиратронные усилите-

ли в схемах фотореле применяются главным образом тогда, когда необходимо управлять мощными выходными реле. Иногда в фотореле применяются усилители на тиратронах с холодным катодом.

Рассмотрим подробнее фотореле с усилением переменной составляющей фототока. Использование переменной составляющей фототока для управления выходным реле целесообразно в двух случаях: при эксплуатации фотореле с полупроводниковыми фотоприемниками в условиях резкого колебания окружающей температуры и для устранения мешающего воздействия постороннего источника излучения. В первом случае резкое изменение температуры окружающей среды приводит к изменению внутраннего сопротивления фотоприемника и может привести к ложному срабатыванию фотореле. Мешающее воздействие посторонних источников излучения (засветка) также может привести к нарушению четкой работы фотореле. Для получения переменной составляющей фототока применяются специальные устройства, называемые модуляторами светового потока. В качестве модуляторов светового потока чаще всего используются вибрационные модуляторы и вращающиеся обтюраторы. Однако ввиду простоты и компактности конструкции первого типа модуляторов им и отдается предпочтение при конструировании фотореле.

Вибрационный модулятор состоит из постоянного подковообразного магнита, между полюсами которого помещается стальная пластинка (заслонка), жестко закрепленная одним концом в основании. Являясь сердечником катушки, заслонка вибрирует с частотой 100 *гц* при прохождении переменного тока частотой 50 *гц* через катушку. Свободный конец заслонки, снабженный специальным язычком, в такт вибрации прерывает световой поток, падающий на фотоприемник.

Дисковый обтюратор представляет собой непрозрачный диск с рядом прорезей или отверстий, насаженный на вал электродвигателя и помещенный на пути светового пучка. При вращении диска световой поток прерывается с частотой (в герцах)

$$f = \frac{nN}{60},$$

где n — число оборотов электродвигателя в минуту;

N — количество отверстий по периметру диска.

При освещении фотоприемника модулированным световым потоком через нагрузочное сопротивление фотоприемника протекает как постоянная, так и переменная составляющая фототока. Изменение температуры окружающей среды и засветка фотоприемника посторонним источником практически скажутся только на изменении постоянной составляющей фототока. Для выделения переменной составляющей нагрузочное сопротивление подключается к входу усилителя через разделительный конденсатор соответствующей емкости. При питании фотоприемника переменным током в фотореле необходимо применять и усилители переменного тока.

Рассмотрим кратко некоторые схемы фотореле с усилителями фототоков.

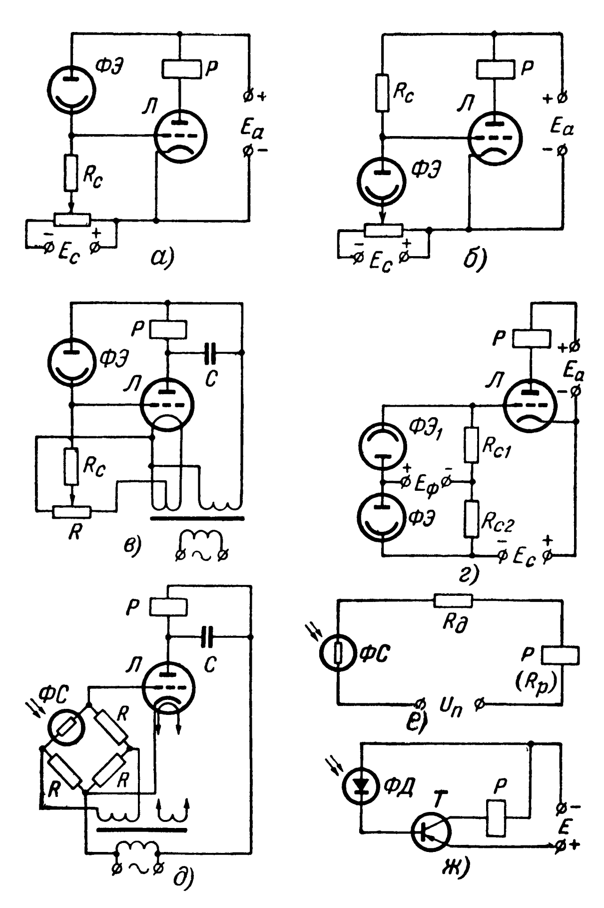


Рис. 3. Схемы фотореле.

На рис. 3,*а* и *б* приведены простейшие схемы фотореле с вакуумным фотоэлементом *ФЭ* и усилителем постоянного тока на электронной лампе *Л*. Эти схемы различаются способом включения фотоэлемента. Фотореле на рис. 3,*а* срабатывает при освещении фотоэлемента, а на рис. 3,*б* — при его затемнении. При освещении фотоэлемента фототок создает на сопротивлении R_c такое падение напряжения, которое в первом случае уменьшает отрицательное смещение на сетке лампы, а во втором — увеличивает его. Сопротивление R_c выбирается таким, чтобы при заданной величине фототока через лампу протекал анодный ток необходимой величины.

Схема фотореле, работающего на переменном токе (рис. 3,*в*), в принципе не отличается от рассмотренных выше схем. Однако

отсутствие выпрямительного устройства значительно упрощает конструкцию фотореле. Реле *Р* в этой схеме срабатывает при освещении фотоэлемента. Напряжение, снимаемое с потенциометра *R*, выбирается таким, чтобы при затемненном фотоэлементе лампа в течение положительного полупериода на аноде была запертой. Для этого переменное напряжение смещения должно быть в противофазе по отношению к анодному напряжению. Ввиду того что при освещении фотоэлемента лампа будет пропускать ток только в положительные полупериоды питающего напряжения, через обмотку выходного реле потечет пульсирующий ток с частотой пульсаций, равной частоте питающего напряжения. Для сглаживания пульсаций, вызывающих дребезжание якоря реле, параллельно обмотке реле обычно включают конденсатор *С* емкостью в несколько микрофарад.

Для увеличения чувствительности и стабильности работы фотореле часто применяется дифференциальная схема включения фотоэлементов (рис. 3,*г*). Эта схема позволяет сравнивать два световых потока, один из которых можно использовать как эталонный. Входная мостовая схема сбалансирована при равенстве обоих световых потоков. При отклонении контролируемого светового потока от заданного значения разбаланс моста увеличит (или уменьшит) смещение на сетке лампы, что вызовет срабатывание (или отпускание) выходного реле.

Схема фотореле переменного тока с фотосопротивлением *ФС* в одном плече мостовой схемы приведена на рис. 3,*д*. Такое фотореле может срабатывать как при освещении фотосопротивления, так и при затемнении его, в зависимости от условий баланса входного моста.

На рис. 3,*е* приведена схема фотореле, выполненная на фотосопротивлении *ФС* без усилителя, а на рис. 3,*ж* — схема фотореле, выполненная на фотодиоде *ФД*. Усиление фототока осуществляется здесь с помощью каскада на транзисторе *Т*. Особенностью применения транзисторных усилителей фототока в схемах фотореле является необходимость согласования входа (обычно низкоомного) этих усилителей с большим внутренним сопротивлением большинства фотоприемников. Для этого применяют входные трансформаторы или принимают специальные меры по увеличению входного сопротивления усилителей. Одной из таких мер является использование усилителя с нагрузкой в цепи эмиттера.

4. Расчет фотореле

Расчет фотореле состоит обычно из электрического и светотехнического расчетов. Часто исходным параметром для расчета является мощность той электрической цепи, которой необходимо управлять с помощью фотореле. В этом случае заданная мощность определяет тип выходного реле. Токи срабатывания и отпускания этого реле определяют схему фотореле. Если ток срабатывания реле невелик и может быть получен непосредственно от фотоприемника, то применяется простейшая схема фотореле без усилителя. В противном случае между выходным реле и фотоприемником включают усилитель.

Из расчета усилителя получают значение перепада напряжений на входе усилителя $\Delta U_{вх}$, обеспечивающее четкое срабатывание реле. Затем по необходимой величине фототока выбирается тип фотоприемника. В некоторых случаях к фотоприемнику предъявляются дополнительные требования. Так, если применяется модулированный световой поток, то необходимо учитывать частотные свойства фотоприемника. При освещении фотоприем-

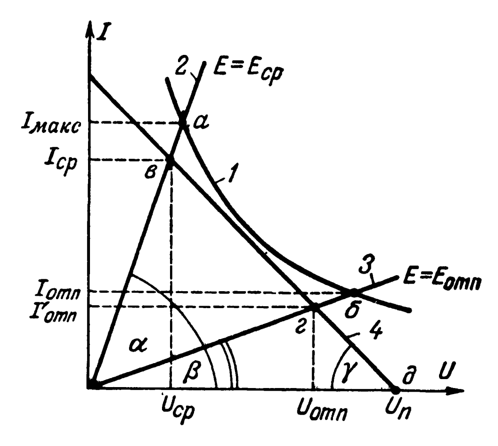


Рис. 4. Графический расчет фотореле.

ника светом определенного спектрального состава следует учитывать спектральные свойства фотоприемника.

После выбора типа фотоприемника определяют величины световых потоков или освещенностей, вызывающих появление фототоков заданной величины, напряжение питания фотоприемника и переходят к расчету осветителя. В процессе светотехнического расчета определяют параметры оптической системы, источника излучения и выбирают его тип. Порядок расчета фотореле зависит от исходных данных. Так, например, если заданы значения световых потоков, необходимых для срабатывания и отпускания реле, то электрический расчет ведется от фотоприемника к выходному реле.

Рассмотрим порядок расчета фотореле на примере часто встречающейся схемы с фотосопротивлением (рис. 3,*е*). Тип реле выбирается по мощности, которую могут коммутировать его контакты. По справочнику находят ток срабатывания $I_{ср}$ и отпускания $I_{отп}$, а также сопротивление обмотки $R_{р}$ выбранного типа реле. По величине $I_{ср}$ выбирается тип фотосопротивления.

Расчет будем вести графоаналитическим методом с помощью вольт-амперных характеристик. Для учета допустимых для фотосопротивления мощностей рассеяния строится кривая предельной мощности (рис. 4). Зная величину наибольшего для данного фотосопротивления рабочего напряжения, а также ма-

ксимально допустимую мощность рассеяния, такую кривую можно построить по формуле

$$P_{доп} = U_ф I_с,$$

где $U_ф$ — напряжение на фотосопротивлении;

$I_с$ — ток через фотосопротивление при освещении.

При этом необходимо учитывать максимально допустимое значение тока через фотосопротивление в зависимости от режима его использования (непрерывного или импульсного).

Площадь, ограниченная кривой *1* и осями координат, является областью рабочих напряжений и токов. Для устойчивой работы реле величины токов срабатывания и отпускания выбираются отличными от паспортных значений $i_п$:

$$I_{ср} = (1{,}15 \div 1{,}2)\ I_{ср\ п};$$

$$I_{отп} = (0{,}7—0{,}8)\ I_{отп\ п}.$$

Полученные величины токов откладываем на оси ординат.

Затем следует определить величины освещенностей, вызывающих протекание через фотосопротивление токов, достаточных для срабатывания выходного реле. Для фотореле, работающего по принципу светового барьера, достаточно знать лишь освещенность срабатывания $E_{ср}$, так как отпускание реле происходит при прерывании светового потока, т. е. при $E = 0$. Если фотореле применяется для контроля прозрачности жидкостей, то необходимо знать оба значения освещенности.

Искомые значения освещенностей можно определить из следующих соображений. Вольт-амперной характеристикой фотосопротивления является прямая, проходящая через начало координат. Наклон этой прямой зависит от величины сопротивления $R_ф$, которое в свою очередь определяется значением освещенности. Если провести такую характеристику с учетом обеспечения необходимого тока срабатывания, то, зная зависимость $R_ф$ от E, можно найти интересующие нас величины освещенностей.

Для получения некоторого запаса по освещенности необходимо задаться максимальным значением тока, которое находят из условия

$$I_{макс} = (1{,}15 \div 1{,}2)\ I_{ср}.$$

Это значение также откладывают на оси ординат. Пересечение прямой, соответствующей $I_{макс}$, с кривой *1* дает точку *а*, через которую из начала координат проводится прямая *2*. Эта прямая является вольт-амперной характеристикой фотосопротивления при освещенности срабатывания $E_{ср}$. По углу наклона этой характеристики можно найти величину омического сопротивления фотоприемника $R_ф = \mathrm{ctg}\,\alpha$, а соответствующую ему освещенность $E_{ср}$ можно определить графоаналитическим методом. Для этого в логарифмическом масштабе строится функция

$$R_ф = \frac{10^7}{K_0 E S},$$

где $R_ф$ — сопротивление фотоприемника, *ком*;

K_0 — удельная чувствительность фотосопротивления;

E — освещенность, *лк*;

S — рабочая площадь фотосопротивления, $см^2$.

Ввиду того что эта функция в логарифмическом масштабе будет прямой, для ее построения достаточно найти две точки. Первую точку находят следующим образом. На оси ординат

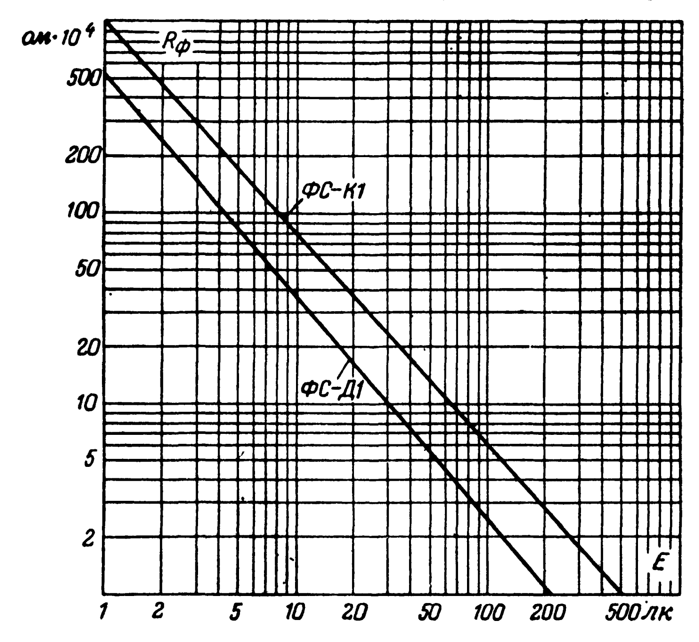


Рис. 5. Зависимость сопротивления от освещенности для фотосопротивлений ФС-К1 и ФС-Д1.

откладывают величину темнового сопротивления $R_т$, которую берут из паспортных данных фотосопротивления. Положение второй точки рассчитывается по приведенной выше формуле. Величина удельной чувствительности и соответствующая ей освещенность, а также рабочая площадь фотосопротивления берутся из паспортных данных. Построенные таким образом зависимости для фотосопротивлений ФС-К1 и ФС-Д1 показаны на рис. 5.

Аналогично определяется освещенность $E_{отп}$, соответствующая расчетному току отпускания. Для этого находят точку *б* (точку пересечения ординаты $I_{отп}$ с кривой *1*). Через эту точку проводят вольт-амперную характеристику *3*, соответствующую освещенности отпускания. По значению ctg β находят величину $R_ф$, соответствующую $E_{отп}$, а по графику (рис. 5) определяют величину освещенности отпускания.

Для построения нагрузочной прямой *4* находят точку *в* как точку пересечения прямой *2* и прямой, параллельной оси U, соответствующей значению $I_{ср}$. Второй точкой является точка *д*, соответствующая выбранной величине напряжения питания фотосопротивления $U_п$. Фактическая величина тока отпускания $I'_{отп}$ определится в этом случае точкой *г*. Величина напряжения $U_п$ должна быть меньше максимально допустимого рабочего напряжения.

Котангенс угла наклона нагрузочной прямой γ определяет общее сопротивление нагрузки $R_н$, которое необходимо включить последовательно с фотосопротивлением. Если величина $R_н$ больше сопротивления обмотки реле $R_р$, то последовательно с обмоткой необходимо включить сопротивление $R_д$ так, чтобы

$$R_н = R_р + R_д.$$

Максимальная чувствительность фотореле по мощности достигается в том случае, если сопротивление обмотки реле равно удвоенному значению сопротивления $R_ф$ при освещенности срабатывании, т. е.

$$R_р = R_н = 2R_ф.$$

Если допустимый ток выбранного фотосопротивления не обеспечивает срабатывания выходного реле, то можно применить параллельное включение нескольких фотосопротивлений или применить промежуточное электромагнитное реле, которое будет управлять выходным реле. В обоих случаях порядок расчета фотореле остается таким же.

Нередко исходными данными для расчета фотореле являются величины освещенностей $E_{ср}$ и $E_{отп}$, при которых реле должно срабатывать и отпускать. Порядок расчета в этом случае несколько меняется. Сначала по заданным величинам освещенностей с помощью графика на рис. 4 определяются величины сопротивлений $R_{ф\,ср}$ и $R_{ф\cdot отп}$ и строятся вольт-амперные характеристики. Пересечения этих характеристик с кривой *1* (точки *а* и *б*) дают величины максимальных токов срабатывания и отпускания, по которым выбирается тип выходного реле. Дальнейший порядок расчета не отличается от уже приведенного.

Светотехнический расчет фотореле в радиолюбительской практике производится редко, так как в большинстве случаев при конструировании фотореле пользуются уже имеющимися деталями оптической системы. Поэтому достаточно правильно выбрать лампу осветителя для получения требуемой освещенности.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ФОТОРЕЛЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ И СЧЕТА ИЗДЕЛИЙ

5. Металлургические фотореле

Одной из наиболее крупных областей применения фотореле является автоматика металлургической промышленности, в частности автоматика прокатного производства. Условия работы фотореле в прокатном производстве являются очень неблаго-

приятными из-за высокой окружающей температуры и большой запыленности цехов. Поэтому к фотореле, работающим в условиях прокатного производства, предъявляются требования повышенной надежности и четкости в работе. Не описывая серийные образцы металлургических фотореле, рассмотрим несколько простых конструкций, которые могут быть изготовлены силами радиолюбителей с целью применения в системах автоматики прокатного производства.

Одна из таких конструкций — фотореле без электронного усилителя—изготовлена и успешно эксплуатируется в трубопрокатном цехе. Такое фотореле имеет простую конструкцию, в работе надежно и намного дешевле серийно выпускаемых. Все элементы схемы фотореле смонтированы в фотоголовке серийно выпускаемых фотореле (например, ФРС-53, ФРС-55). В качестве фотоприемника в этом фотореле используется фотосопротивление типа ФС-К1. Спектральная характеристика фотосопротивления позволяет использовать фотореле как с отдельным осветителем, так и без осветителя. Роль осветителя может играть металл, нагретый до температуры не ниже 900—960° С. Элементы схемы выбраны так, что ток, протекающий через фотосопротивление при его освещении, имеет величину 6—8 *ма*, т. е. в 4—5 раз превышает номинальный. Как показали испытания, такое увеличение тока вполне допустимо.

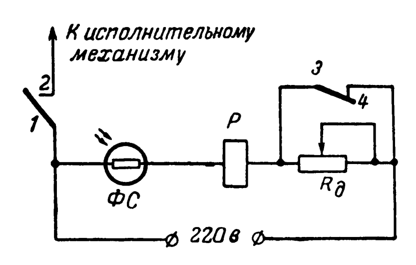


Рис. 6. Принципиальная схема металлургического фотореле.

Образец фотореле при испытании на стенде выдержал 200 000 включений, после чего был установлен на автоматизированном участке трубопрокатного стана, где он работал с частотой 5 000—6 000 включений в сутки. Испытания фотореле, собранного по схеме на рис. 6, проводились без добавочного сопротивления в цепи обмотки реле *Р*, что является для фотосопротивления ФС-К1 довольно тяжелым режимом. Увеличение тока через фотосопротивление несколько увеличивает его инерционность при затемнении, однако в тех случаях, когда инерционность фотореле не играет решающей роли, может быть применена простейшая схема без добавочного сопротивления $R_д$. Менее напряженный для фотосопротивления режим достигается включением в схему сопротивления $R_д$. При срабатывании фотореле его нормально открытые контакты *1, 2* замыкают цепь исполнительного механизма, а нормально закрытые контакты *3, 4,* шунтирующие сопротивление $R_д$, размыкаются, и ток в цепи обмотки реле несколько уменьшается. Регулируя величину $R_д$, можно изменять время отпускания реле примерно до 2 *сек,* что позволяет использовать фотореле одновременно и как реле времени. В некоторых схемах это позволяет обходиться без специального реле времени.

В рассмотренной схеме применено реле постоянного тока типа МКУ-48 на напряжение 220 *в*. Обмотка реле содержит 27 000 витков провода ПЭЛ 0,05. Сопротивление ее равно 20 *ком*. Для повышения чувствительности желательно применять реле с минимальным числом контактов. Так, в случае отсутствия в схеме сопротивления $R_д$ следует применить реле с двумя нормально открытыми контактами (шифр РУ45011850Д),

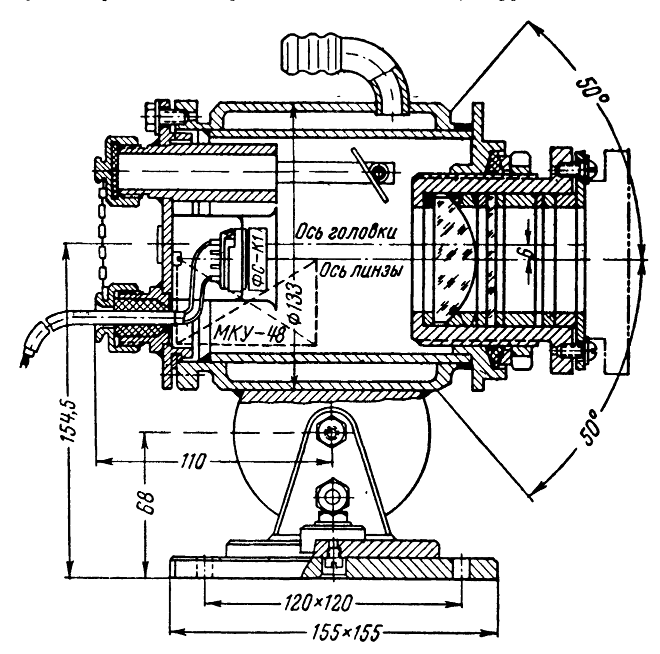


Рис. 7. Расположение элементов схемы в головке фотореле типа ФРС-53.

ток срабатывания которого составляет всего 5 *ма*. При наличии $R_д$ и применении реле с двумя нормально-открытыми и двумя нормально-закрытыми контактами (шифр РУ4501150Д) ток срабатывания будет составлять 7 *ма*. В тех случаях, когда оперативная цепь автоматического устройства работает на переменном токе, питание фотореле также целесообразно осуществлять переменным током напряжения 220 *в*. Величина добавочного сопротивления $R_д$ определяется необходимой выдержкой времени и не должна быть более 50—75 *ком*. Если требуется регулировать выдержку времени, то применяется переменное сопротивление типа ТК или СП.

На рис. 7 изображена головка фотореле типа ФРС-53 с размещенными в ней элементами схемы. Размещение реле МКУ-48 в головке позволяет располагать ее практически на любом расстоянии от шкафа с аппаратурой автоматики.

При самостоятельном изготовлении головки ее конструкцию можно упростить. Так, например, головку можно сделать без охлаждающей рубашки, которая необходима лишь тогда, когда температура головки может подниматься выше 75° С. Можно обойтись и без перископического визира. Стоимость фотореле в этом случае будет в несколько раз ниже стоимости промышленного фотореле.

В качестве фотоприемников металлургических фотореле весьма перспективно использование германиевых фототриодов из-за высокой чувствительности, больших рабочих фототоков,

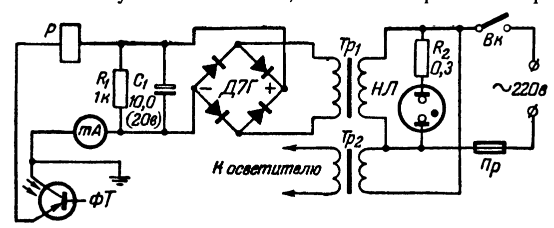


Рис. 8. Принципиальная схема фотореле ФРМ-1.

быстродействия, широкой области спектральной чувствительности и т. п. На основе двух типов высокочувствительных германиевых транзисторов (с базовым выводом и без него) разработано несколько вариантов простых схем фотореле, отличающихся высокими эксплуатационными качествами.

Одним из вариантов является металлургическое фотореле типа ФРМ-1 без усилителя фототоков. Схема этого фотореле (рис. 8) состоит из последовательно включенных германиевого фототриода *ФТ*, источника питания (выпрямителя) напряжением 14 *в* и исполнительного электромагнитного реле *Р* типа РПНВ. При освещении рабочей поверхности фототриода световым потоком всего в 5 *млм* ток в цепи его увеличивается до значений 12—15 *ма*, что вполне достаточно для срабатывания выходного реле. Темновой ток фототриода составляет примерно 0,5 *ма* и не препятствует отпусканию реле.

Ввиду малой рабочей поверхности фототриода (диаметр около 1 *мм*) для ее освещения необходим остронаправленный источник излучения. Необходимо и очень точное визирование головки на контролируемый предмет. Ввиду сильной зависимости темнового тока фотодиода от температуры фотоголовка имеет водяное охлаждение. Без охлаждения, при температурах выше 35—40° темновой ток фототриода может превысить величину тока отпускания и реле не отпустит.

Фотореле состоит из фотоголовки, осветителя и блока питания. Фотоголовка снабжена однолинзовым объективом диаметром 35 *мм* (фокусное расстояние 50 *мм*), в фокальной плоскости которого установлен фототриод. Она имеет специальную насадку для защиты (с помощью воздушного потока) оптики от попадания пыли и мелких осколков окалины. Держатель фотоприемника, объектив и защитное стекло собраны в одной оправе, которая легко вынимается из корпуса го-

ловки. В держателе можно устанавливать не только фототриод, но, если нужно, и фотосопротивление. Фотоголовка крепится к основанию и может перемещаться относительно него в вертикальной плоскости на $\pm 50°$, а в горизонтальной — на 360°. Для удобства настройки она снабжена визирным устройством и гнездами для контроля качества настройки по току фотоприемника (фототриода, фотосопротивления).

Головка осветителя имеет такую же конструкцию, как и фотоголовка, но не имеет водяного охлаждения. Источником излучения в осветителе служит лампа накаливания типа СГ-2Ш.

В блоке питания установлены трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$, выпрямитель, собранный по мостовой схеме на полупроводниковых диодах типа Д7Г, выходное реле *Р*, выключатель *Вк*, предохранитель *Пр*, а также индикатор включения — неоновая лампа *НЛ* типа МН-5.

Как показали испытания, такое фотореле может работать на расстоянии до 20 *м* от осветителя или от самосветящихся раскаленных тел с температурой не ниже 500—600° С. Оно не нуждается в предварительном прогреве и не требует никаких регулировок в процессе работы. Недостатком его является небольшая разрывная мощность контактов выходного реле. Включение в схему более мощных промежуточных реле приводит к увеличению общего времени срабатывания фотореле.

Применение в рассмотренной схеме усилителя фототоков полностью устраняет указанный недостаток. В других вариантах описанного фотореле все элементы его, кроме реле *Р*, сохраняются, а вместо последнего подключается усилитель. Таким образом можно повысить мощность исполнительного реле, сохранив все остальные параметры фотореле.

На рис. 9 приведена схема фотореле типа ФРБ-2 с повышенным быстродействием. Эта схема имеет промежуточный ламповый усилитель. Темновой ток затемненного фототриода *ФТ*, протекая через нагрузочное сопротивление R_1, создает на нем незначительное падение напряжения, которое не может отпереть лампу $Л_1$, запертую отрицательным напряжением вспомогательного источника $Д_2C_2$. В этом случае схема не будет реагировать на небольшие колебания темнового тока при изменениях температуры.

Ток освещенного фототриода создаст на нагрузке напряжение, достаточное для отпирания лампы. Потенциометром R_2 устанавливается начальное напряжение смещения, определяющее порог срабатывания фотореле. Конденсатор C_3 поддерживает постоянным потенциал в катодной цепи лампы при переходном процессе. Это, а также работа выходного реле *Р* в форсированном по току режиме обеспечивает время срабатывания фотореле с момента освещения фототриода не более 0,02 *сек*.

В электронном блоке фотореле установлено реле *Р* типа МКУ-48. При необходимости к электронному блоку может быть подключено внешнее исполнительное реле. В этом случае обмотка выходного реле замыкается переключателем *П*. Если ток срабатывания внешнего реле превышает 35 *ма*, то применяется вторая лампа $Л_2$ (тоже типа 6П9), работающая параллельно с первой.

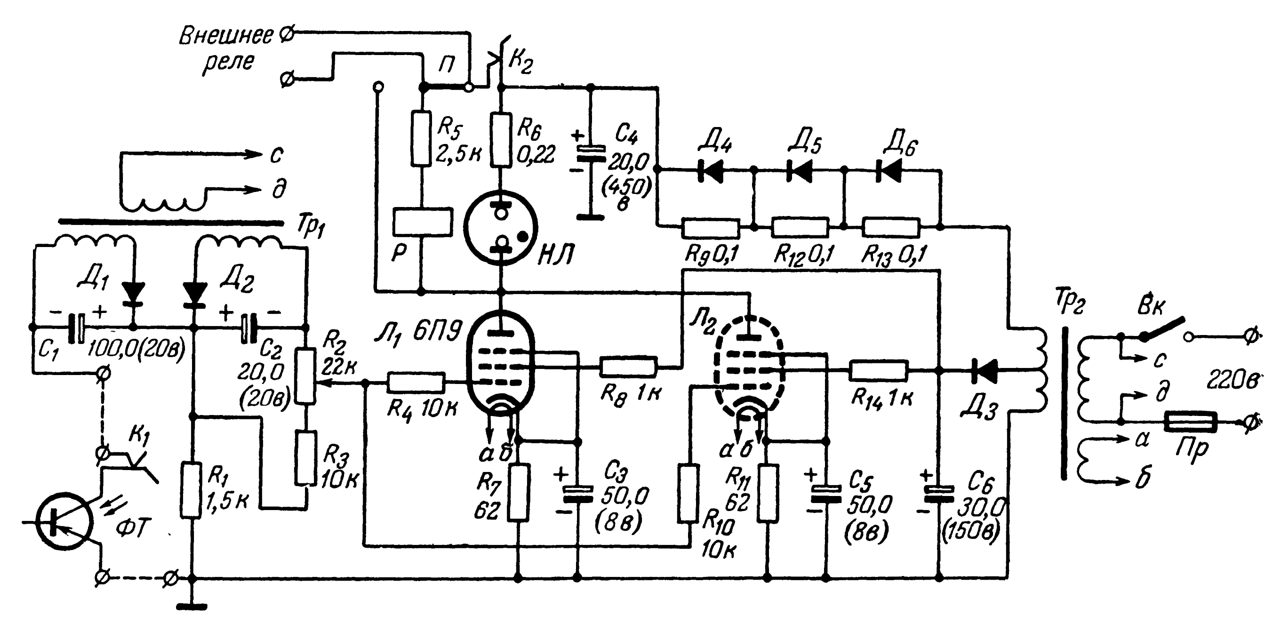


Рис. 9. Принципиальная схема фотореле ФРБ-2.

Таким образом, фотореле может работать с любым электромагнитным реле постоянного тока с током срабатывания до 70 *ма*. Для контроля токов выходного реле, а также фотоприемника служат специальные контактные гнезда K_1 и K_2.

В осветителе фотореле используется лампа типа СГ-2Ш. Для увеличения срока ее службы она работает с недокалом. Низкая допустимая температура фотоприемника (35—40° С) ограничивает применение описанных фотореле. Однако при использовании фототриода по схеме со «связанной базой», эта температура может быть повышена до 55—60° С. Схема включения коллекторной цепи такого фототриода такая же, как и у фототриода с «плавающей базой», а базовая цепь может быть использована для компенсации температурных изменений темнового тока.

В описанном фотореле вместо фототриода можно применять фотосопротивления, однако время срабатывания фотореле в этом случае увеличивается, а температура контролируемого металла должна быть более высокой.

6. Фотореле для контроля геометрических размеров

При массовом производстве изделий большое значение имеет автоматический контроль геометрических размеров. Особенно важно контролировать размеры в процессе изготовления (например, при прокате, обточке, шлифовании и т. п.), так как в этом случае выходной сигнал контролирующего устройства можно использовать для достижения заданных размеров с минимальной погрешностью, что предупреждает появление бракованных изделий и в конечном итоге повышает производительность труда. К устройству, контролирующему геометрические размеры, обычно предъявляются два основных требования: оно должно быть бесконтактным и быстродействующим. Обоим этим требованиям удовлетворяют фотоэлектрические устройства. Схемы фотоэлектрических устройств для контроля размера деталей в процессе их обработки приведены на рис. 10.

Расположение источника света *ЛО* и фотоприемника *ФП* по схеме 10,*а* затрудняет установку и съем деталей со станка, так как для получения достаточно высокой точности контроля

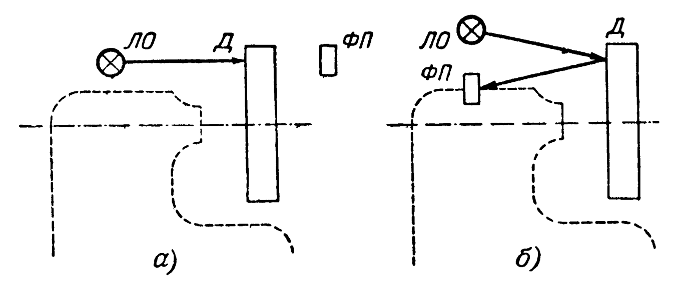


Рис. 10. Схемы использования фотореле для контроля за достижением заданного размера деталей.

осветитель и фотоприемник должны располагаться достаточно близко к обрабатываемой детали. Схема, приведенная на рисунке 10,*б*, свободна от этого недостатка. Пучок света от источника *ЛО* фокусируется на поверхности детали *Д*. Отраженный световой пучок падает на фотоприемник *ФП*. Источник света располагается так, чтобы при достижении заданного размера обрабатываемого изделия световой пучок не отражал-

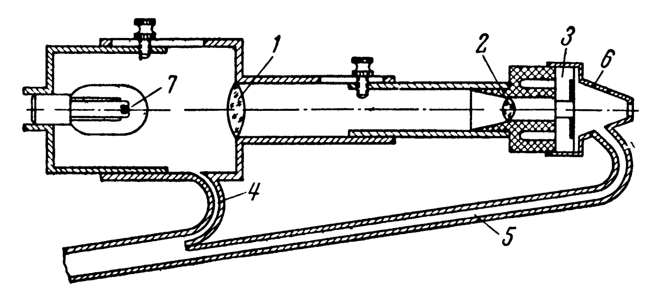


Рис. 11. Конструкция датчика фотореле для контроля за достижением заданного размера при обработке.

ся на фотоприемник. Изменение освещенности фотоприемника преобразуется в командный сигнал управления пусковой аппаратурой обрабатывающего станка.

При использовании в качестве фотоприемника фотосопротивления типа ФС-К6 осветитель и фотоприемник объединяются в один узел, что значительно упрощает задание размера обрабатываемой детали. Конструкция такого фотоэлектрического датчика показана на рис. 11 Пучок света фокусируется оптической системой, состоящей из линз *1* и *2*. Фотосопротивление *3* и линзы предохраняются от пыли и мелких стружек, появляющихся при обточке, сжатым воздухом, продуваемым через трубку *5* и светозащитный конус *6*. При этом сжатым воздухом охлаждается и лампа осветителя *7* (через трубку *4*).

Электрическая схема прибора приведена на рис. 12. Фотосопротивление *ФС* включено в одно из плеч моста, образованного сопротивлениями R_5, R_6 и R_7. Переменным сопротивлением R_7 мост балансируется при освещенном фотосопротивлении. При достижении заданного размера свет не отражается от контролируемого изделия и фотосопротивление затемняется. Величина его сопротивления при этом резко увеличивается, и мост выходит из состояния равновесия. Напряжение разбаланса подается на сетки двойного триода $Л_2$ усилителя постоянного тока.

Усиленное напряжение в отрицательной полярности прикладывается к управляющей сетке нормально открытого тиратрона $Л_3$ и запирает его. При этом реле *Р* отпускает, переключая контакты управления *КУ* системой автоматической остановки станка. Одновременно с этим включается лампа световой сигнализации *ЛС*. Сопротивление R_{12} предохраняет

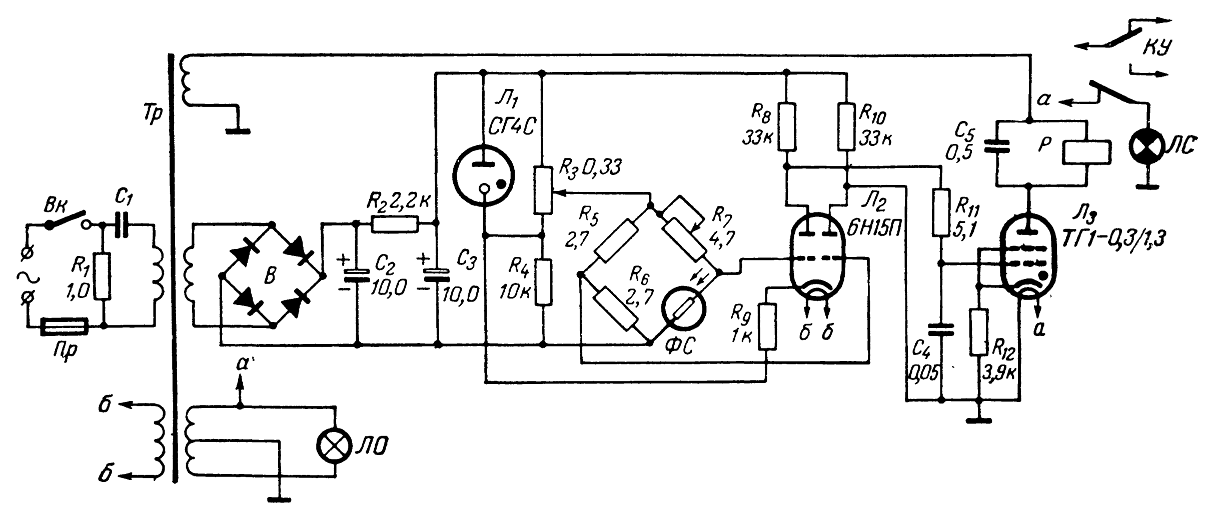


Рис. 12. Принципиальная схема прибора для контроля за достижением заданного размера при обработке.

тиратрон от перегрузки. Конденсатор C_4 служит для устранения наводок, которые могут вызвать ложные срабатывания реле. С помощью переменного сопротивления R_3 устанавливается начальное смещение усилителя. Усилитель постоянного тока и мост питаются от выпрямителя *B*, собранного на диодах типа Д7Ж.

Фотореле имеет наибольшую чувствительность при контроле размеров светлых изделий на темном фоне. Для повышения стабильности работы прибора питание его производится от трансформатора *Тр* с феррорезонансной стабилизацией. Емкость конденсатора C_1 подбирается при наладке стабилизатора. Испытания прибора показали, что погрешность размера обработанных изделий не превышает ±0,2 *мм*.

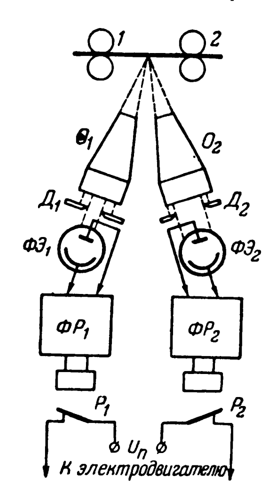


Рис. 13. Фотореле для контроля толщины нитевидных материалов.

Широкое применение фотоэлектронные устройства получили при контроле диаметра нитевидных материалов и, в частности, проволоки. Для строгой фиксации положения проволоки в поле зрения контролирующего устройства она пропускается между двумя парами направляющих валков *1* и *2* (рис. 13), отстоящих друг от друга не более чем на 10—12 *мм*. Проволока сильно освещается одним или несколькими источниками. Изображение проволоки проецируется слабыми микроскопическими объективами O_1 и O_2 на фотоэлементы $ФЭ_1$ и $ФЭ_2$. При этом чувствительная площадь фотоэлемента $ФЭ_1$, ограниченная диафрагмой $Д_1$, по размерам совпадает с изображением проволоки нормального диаметра, а чувствительная площадь фотоэлемента $ФЭ_2$, ограниченная диафрагмой $Д_2$, совпадает с изображением проволоки максимального диаметра. Электродвигатель, производящий перемотку проволоки, подключен к источнику питания $U_п$ через контакты реле P_1 и P_2. Фотореле $ФР_1$ размыкает контакты своего исполнительного реле P_1 при появлении освещения, а $ФР_2$ при этом замыкает свои контакты. Из этого следует, что если фотоэлемент $ФЭ_1$ затемнен, а $ФЭ_2$ освещен (что будет при проволоке нормального диаметра), то контакты реле P_1 и P_2 замкнуты и электродвигатель производит перемотку. При освещении обоих фотоэлементов (диаметр проволоки мал) разомкнутся контакты реле P_1, при затемнении обоих фотоэлементов (диаметр проволоки велик) разомкнутся контакты реле P_2. В обоих случаях электродвигатель перемотки остановится. Вместо остановки электродвигателя схема может отмечать участки, отклоняющиеся по толщине от допустимых, для их последующего удаления.

Обычно применяемое увеличение изображения проволоки микроскопическими объективами (в зависимости от ее номинального диаметра) находится в пределах от 4 до 50. Фото-

реле для контроля диаметра проволоки должно быть быстродействующим, так как скорость волочения тонкой проволоки составляет примерно 250—350 *м/мин,* а в отдельных случаях может доходить до 600—700 *м/мин.* При длине участка проволоки с отличным от номинального диаметром в 1 *м* фотоэлементы будут воспринимать световой импульс длительностью около 0,07 *сек.* При отсутствии микроскопических объективов можно применить точечный источник света, близко расположенный к проволоке и дающий сильно увеличенную ее тень на светочувствительной поверхности фотоэлементов.

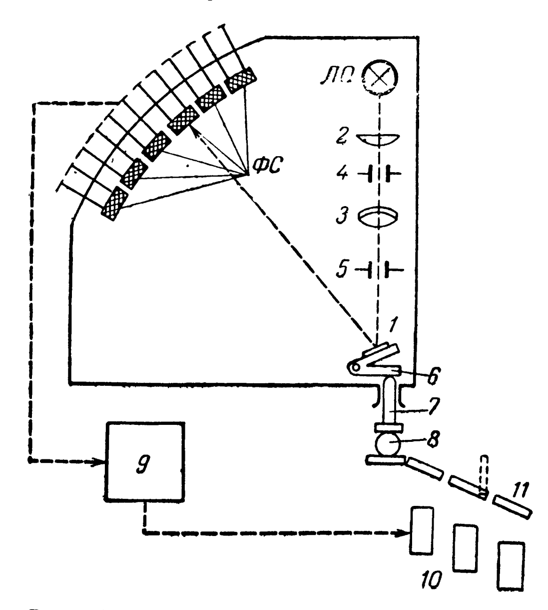


Рис. 14. Фотоэлектрический автомат для сортировки деталей на размерные группы.

В фотоэлектрическом автомате для сортировки сферических изделий применяется проекционный способ. Изображение сферического изделия проецируется на полупрозрачный экран (матовое стекло). Другая оптическая система проецирует это изображение на фотоэлемент, диафрагма перед которым имеет форму круга с определенным диаметром d. Если проецируемое изображение полностью перекрывает отверстие диафрагмы, то фотоэлемент будет полностью затемнен. При этом сработает фотореле и, открыв желоб, в углублении которого находится изделие, выпустит его в приемник.

При сортировке сферических изделий, например по четырем различным размерам, расположение элементов автомата будет следующим. Первым располагается фотореле с диафрагмой, соответствующей максимальным размерам. Изделие сред-

него размера не создаст силуэт достаточных размеров для того, чтобы полностью закрыть диафрагму и не пропустить некоторое количество света на фотоэлемент. Таким образом, первое фотореле не сработает и изделие попадет (с помощью специального устройства, перемещающего его) в поле зрения второго фотореле, диафрагма которого имеет диаметр d_1, меньший диаметра d. Процесс осмотра повторяется, и если изображение все еще мало, то изделие переместится в поле зрения третьего фотореле. Если в этом случае силуэт перекрывает диафрагму, то сработает третье фотореле и изделие попадет в третий бункер, соответствующий его размерам.

Схема другого фотоэлектрического сортировочного автомата приведена на рис. 14. Фотосопротивления *ФС* (типа ФС-К5) монтируются по дуге окружности и освещаются пучком света, отраженным от зеркала *1*. Осветитель, состоящий из лампы *ЛО*, линз *2* и *3* и диафрагм *4* и *5*, формирует узкий параллельный пучок света. Зеркало *1* укреплено на рычаге *6*, связанном с измерительным наконечником *7*, опирающимся на поверхность измеряемой детали *8*.

Каждое фотосопротивление связано через промежуточное реле или усилитель *9* с одним из исполнительных электромагнитов *10*, управляющих сортировочными заслонками *11*. Измерительный наконечник, перемещаясь в зависимости от размера детали, поворачивает зеркало и освещает одно из фотосопротивлений, вследствие чего срабатывает соответствующий электромагнит. При этом заслонка устанавливается в положение, показанное на рисунке пунктиром, и открывает канал, по которому контролируемая деталь скатывается в приемник деталей соответствующего размера. Применение лампового или полупроводникового усилителя обеспечивает высокую чувствительность, а вместе с тем точность измерения и сортировки (до 1 *мк*) при высокой производительности.

7. Фотореле для счета и сортировки изделий

Для автоматического счета и сортировки штучных изделий широко применяются фотоэлектрические счетчики. Эти счетчики могут как подсчитывать общее число изделий, так и производить выборочный учет (сортировку) по тем или иным признакам изделий, например считать раздельно изделия различного цвета, различного размера, изделия движущиеся в различных направлениях и т. п.

При применении чувствительного реле (с током срабатывания не более 0,25—0,30 *ма*) и фотосопротивлений типа ФС-К или ФС-Д можно построить простейший счетчик, принципиальная схема которого приведена на рис. 15,*а*.

Такой счетчик работает следующим образом. При включении осветителя *ЛО* освещенное фотосопротивление *ФС* имеет малое сопротивление и через обмотку промежуточного реле *Р* (типа РКН) протекает ток, достаточный для его срабатывания. При замыкании нормально открытых контактов реле на электроимпульсный счетчик *Сч* подается питание. При прерывании пучка света изделием фотосопротивление затемняется, ток через обмотку реле уменьшается и контакты его размы-

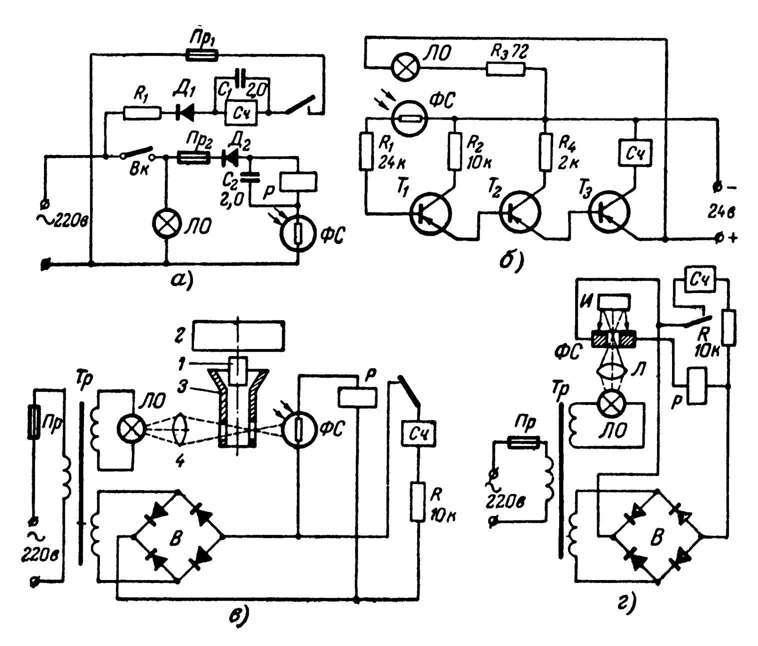


Рис. 15. Принципиальные схемы фотореле для счета изделий.

каются, отключая электроимпульсный счетчик и фиксируя на нем, таким образом, один отсчет. Далее цикл работы повторяется.

Диоды $Д_1$ и $Д_2$ (типа Д7Ж) служат для выпрямления переменного напряжения питания, а конденсаторы C_1 и C_2 — для сглаживания пульсаций в обмотках промежуточного реле и электроимпульсного счетчика. Сопротивление R_1 подбирается в зависимости от сопротивления обмотки электроимпульсного счетчика и имеет величину порядка нескольких килоом.

Электроимпульсные счетчики (типа СБ-1М/100 и СЭИ) имеют высокоомные обмотки, вследствие чего они могут быть отнесены на расстояние до нескольких сотен метров от места счета (так как сопротивление соединительных проводов незначительно по сравнение с сопротивлением обмотки счетчика). Это позволяет установить параллельно включенные счетчики-повторители в тех местах, где они необходимы для оперативного производственного контроля. При счете изделий на конвейере осветитель устанавливается по одну сторону ленты, а фотореле с электромагнитным импульсным счетчиком — по другую, так что каждое изделие при своем движении вместе с конвейерной лентой пересекает световой пучок от осветителя и вызывает срабатывание счетчика.

На рис. 15,*б* приведена принципиальная схема фотоэлектрического счетчика, который отличается от рассмотренного

выше, по существу, тем, что в нем промежуточное электромагнитное реле с ограниченным сроком службы заменено трехкаскадным усилителем на транзисторах, имеющим практически неограниченный срок службы. Фотосопротивление *ФС* типа ФС-К1 включено в цепь базы транзистора T_1. На выходе усилителя в цепи коллектора транзистора T_3 включена обмотка счетчика *Сч*. Сопротивление R_1 служит для ограничения тока эмиттера транзистора T_1 при случайном замыкании проводов, идущих к фотосопротивлению.

Счетчик по такой схеме работает следующим образом. При затемненном фотосопротивлении *ФС* его сопротивление велико, ток эмиттера транзистора T_1, а следовательно, и ток в цепи коллектора выходного транзистора T_3 малы. При освещении фотосопротивления ток возрастает, что приводит к увеличению тока на выходе усилителя до величины, достаточной для срабатывания электромагнитного счетчика *Сч*. Питание фотоэлектрического счетчика осуществляется от источника постоянного тока напряжением 24 *в*.

Для счета мелких деталей разработана схема счетного устройства, приведенная на рис. 15,*в*. Детали *1*, подлежащие счету, из загрузочного бункера *2*, приводимого в действие электродвигателем, по одной падают в канал *3*. Сфокусированный линзой *4* пучок света от источника *ЛО*, проходя через отверстия в стенках канала, попадает на фотосопротивление *ФС* (типа ФС-К1). Падающая по каналу деталь при любом своем положении перекрывает световой поток, что вызывает затемнение фотосопротивления. В качестве осветителя используется лампа типа СЦ-61, питаемая пониженным по сравнению с номинальным напряжением, что значительно увеличивает срок ее службы. Питание счетчика осуществляется от электросети через выпрямитель *В*. Разрешающая способность такого счетного устройства —5—7 деталей в секунду.

Применяемые для работы в отраженном свете фотосопротивления типа ФС-К6 позволяют расположить все элементы счетного устройства в одном блоке с одной стороны от потока изделий, что упрощает его конструкцию. Схематическое расположение элементов такого счетного устройства приведено на рис. 15,*г*. Пучок света от лампы *ЛО*, сфокусированный линзой *Л*, проходит через центральное отверстие, имеющееся в фотосопротивлении *ФС*. При попадании пучка света на поверхность изделия *И* часть его отразится и попадает на светочувствительную поверхность фотосопротивления, вызывая срабатывание отсчетного устройства. Счет возможен только тогда, когда облучаемая грань изделия имеет достаточно большой коэффициент отражения и сами изделия на конвейере занимают всегда примерно одинаковое положение.

Для раздельного подсчета изделий, отличающихся геометрическими размерами, применяется несколько фотореле. Например, для раздельного подсчета трех изделий, различающихся по высоте, следует установить на соответствующих расстояниях по вертикали три фотореле. На рис. 16,*а* для простоты приведены только промежуточные реле P_1, P_2 и P_3 этих фотореле, управляющие работой счетчиков $Сч_1$, $Сч_2$ и $Сч_3$. Изделие, имеющее наибольшую высоту, прервет одновременно все три пучка, и все

промежуточные реле замкнут свои контакты *2—3*, в результате чего сработает только счетчик $Сч_1$. При прохождении изделия, прерывающего два нижних пучка, срабатывают реле P_1 и P_2; в этом случае сработает счетчик $Сч_2$ и т. д. Число счетчиков в таком счетном устройстве может быть практически любым, в соответствии с числом изделий, различающихся по высоте.

Для счета изделий определенной длины или ширины применяются два фотореле (рис. 16,*б*), которые устанавливаются на расстоянии, соответствующем размерам считаемых изделий. Обмотка счетчика *Сч* соединяется последовательно с нормально открытыми контактами *1—2* промежуточных реле P_1 и P_2. При одновременном перекрытии обоих световых пучков фотореле срабатывают, цепь питания счетчика замыкается, и таким образом фиксируется прохождение изделия на конвейере.

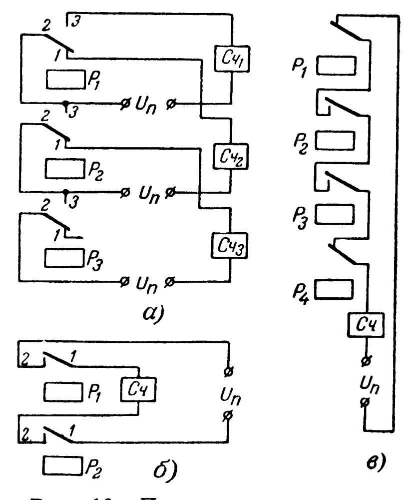


Рис. 16. Принципиальные схемы фотореле для дифференцированного счета по геометрическим размерам.

Схема на рис. 16,*б* может применяться при выборе и счете изделий максимального размера из их общего потока. Однако если на конвейере имеются изделия большего размера, чем считаемое, то они также будут перекрывать оба световых пучка, давая ложный отсчет. В этом случае применяется устройство с четырьмя фотореле, схематически показанное на рис. 16,*в*. Контакты промежуточных реле соединены здесь последовательно с обмоткой счетчика, причем контакты первого и четвертого реле нормально замкнутые, а второго и третьего— нормально разомкнутые. Как следует из рисунка, цепь счетчика окажется замкнутой только при срабатывании промежуточных реле P_2 и P_3 при пересечении второго и третьего световых пучков. Расстояние между вторым и третьим пучками принимается равным размерам считаемого изделия. По существу, первое и четвертое фотореле являются охранными и исключают ложные срабатывания счетчика при прохождении на конвейере изделий бо́льших размеров, чем считаемые изделия.

Для счета окрашенных в различные цвета прозрачных изделий по группам применяются фотореле со светофильтрами. Светофильтр должен пропускать лучи тех длин волн, которые максимально поглощаются считаемой группой изделий одного цвета, и не пропускать лучей тех длин волн, которые заметно поглощаются другими группами. Например, при раздельном счете синих и красных изделий следует применить два фотореле —

с синим и красным светофильтрами. Фотореле с синим светофильтром будет считать изделия красного цвета (так как изделие красного цвета можно рассматривать как красный светофильтр, который не пропускает синих лучей), а фотореле с красным светофильтром будет считать изделия синего цвета.

Для счета непрозрачных изделий по группам, окрашенным в различные цвета, могут применяться ранее описанные фотореле на фотосопротивлениях типа ФС-К6, работающие в отраженном свете со светофильтрами, пропускающими лучи тех длин волн,

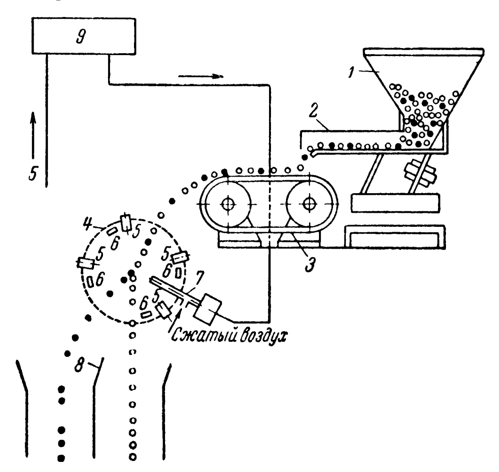


Рис. 17. Схематическое устройство фотоэлектрического сортировочного автомата типа «Sortex» G414.

которые максимально отражаются от окрашенной поверхности изделий считаемой группы. Например, для счета изделий, окрашенных в красный цвет, следует применить красный светофильтр. Изделие, окрашенное в синий цвет, фотореле с красным светофильтром не сосчитает, так как синяя поверхность полностью поглощает красные лучи. Число применяемых для счета фотореле определяется числом различно окрашенных групп изделий.

Фотоэлектрические реле с большим успехом применяются для сортировки по цвету таких продуктов, как горох, бобы, кукуруза, кофе и т. п. Сортировка особенно важна для исключения зерен, которые могут быть заражены какой-либо грибковой болезнью. Такие зерна часто едва различимы по виду и поэтому при сортировке вручную не всегда могут быть выявлены. Кроме того, автоматическая фотоэлектрическая сортировка отличается высокой производительностью.

Примером такого сортировочного устройства может служить английский фотоэлектрический автомат типа «Sortex» G414, предназначенный для сортировки зерен. Схематическое устройство этого автомата приведено на рис. 17. Сортируемые зерна посту-

пают в приемный бункер *1*, откуда с помощью вибрирующего желоба и направляющих планок *2* они подаются на транспортерную ленту с желобком *3*, где выравниваются в один ряд. Затем зерна по одному поступают в камеру *4*, где с различных сторон «осматриваются» четырьмя фотоэлементами *5* на фоне цветных экранов *6*. При прохождении зерна, отличающегося по цвету от эталонного или же имеющего изъяны, фотоэлементы «посылают» соответствующие импульсы фототока в электронный блок *9*, откуда управляющий сигнал подается на установку *7*, подводящую сжатый воздух. Струя сжатого воздуха выбрасывает бракованное зерно из общего потока, направляя его в бункер *8*, тем самым производя сортировку на годные и бракованные зерна. Общий вид сортировочного автомата «Sortex» показан на рис. 18. В системе подачи сортируемого продукта автоматически отсасываются пыль и грязь, а также задерживаются случайно попавшие металлические предметы. Для защиты фотоэлементов и осветителей от пыли в камеру *4* подводится сжатый воздух и каждую минуту пыль автоматически сдувается. Отверстия труб, подводящих сжатый воздух, расположены против поверхностей фотоэлементов и осветителей, и поэтому работа прибора не нарушается в момент продувки.

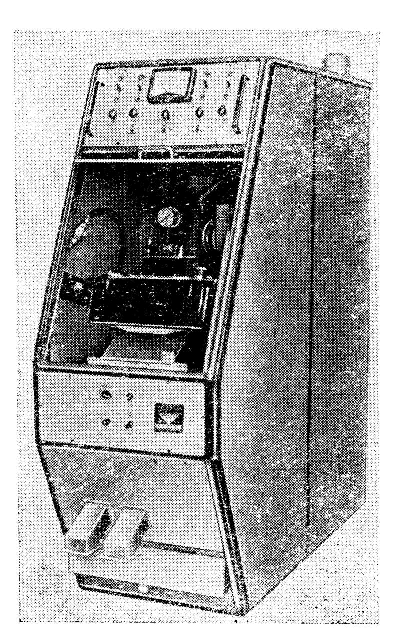


Рис. 18 Общий вид автомата типа «Sortex» G414.

Иногда необходимо считать изделия, движущиеся только в определенном направлении, или определять разность количеств изделий, движущихся в противоположных направлениях. Для этой цели может быть применен фотоэлектрический счетчик, схема которого приведена на рис. 19. До прохождения изделия *И* мимо счетчика оба фотоприемника $ФП_1$ и $ФП_2$ освещены и через обмотки реле P_1 и P_4 протекает ток, достаточный для удержания их якорей в притянутом состоянии. При этом нормально закрытые контакты этих реле разомкнуты и все цепи схемы, за исключением цепей фотоприемников, обесточены. Перемещаясь от осветителя $ЛО_1$ к осветителю $ЛО_2$, изделие сначала перекроет световой пучок, падающий на фотоприемник $ФП_1$, что вызовет резкое уменьшение тока в цепи реле P_1. Якорь этого реле возвратится в исходное положение и замкнет свои нормально за-

мкнутые контакты. При этом через конденсатор C_1 пройдет зарядный ток, который вызовет кратковременное срабатывание реле P_2, в результате чего произойдет столь же кратковременное замыкание нормально открытых контактов этого реле. Однако это замыкание не вызовет срабатывания счетного устройства, так как контакты реле P_4 остаются разомкнутыми.

При дальнейшем перемещении изделие перекроет световой пучок, падающий на фотоприемник $ФП_2$, продолжая затемнять фотоприемник $ФП_1$, что приведет к отпусканию якоря реле P_4.

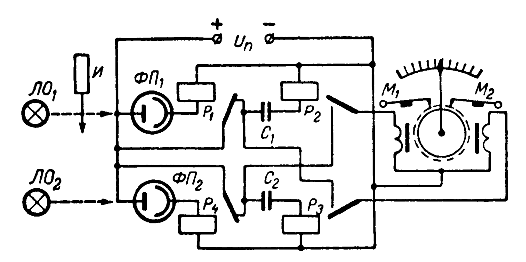


Рис. 19. Принципиальная схема счетчика направленного действия.

Замыкание нормально открытых контактов реле P_4 вызовет кратковременное прохождение зарядного тока конденсатора C_2 через обмотку реле P_3. Кратковременное замыкание контактов реле P_3 вызовет появление тока в обмотке электромагнита M_2 электрического дифференциала, так как нормально замкнутые контакты реле P_1 продолжают оставаться закрытыми. При этом якорь электромагнита повернет на один зуб дифференциал со стрелкой в сторону увеличения отсчета. Показания регистрирующего устройства увеличатся на единицу.

После прохождения изделия световой пучок вновь засветит фотоприемники $ФП_1$ и $ФП_2$, сработают реле P_1 и P_4, размыкая свои нормально замкнутые контакты, и схема возвратится в исходное состояние. При движении изделия в обратном направлечии от $ЛО_2$ к $ЛО_1$ импульс тока попадет на электромагнит M_1, который переместит указывающую стрелку на одну единицу в сторону уменьшения отсчета.

Фотоприемники следует размещать на максимально возможном расстоянии один от другого, так как это повышает надежность работы счетчика. Максимальное расстояние определяется размером считаемого изделия, которое должно одновременно перекрыть световые пучки, падающие на оба фотоприемника.

Описанная схема сравнительно просто осуществляется при применении высокочувствительных электромагнитных поляризованных реле и фотосопротивлений. Вместо двух реле P_2 и P_3 можно применить трехпозиционное двухкатушечное поляризованное реле типа РП-5. Так как реле РП-5 имеет один общий переключающий контакт и два крайних, последние следует включать в нижние (по схеме) выводы от обмоток электромагнитов M_1 и

M_2 вместо нормально разомкнутых контактов реле P_2 и P_3, а к переключающему контакту присоединить провод, идущий от зажима «минус» источника питания $U_п$.

При недостаточно мощных источниках света либо при отсутствии чувствительных реле или фотосопротивлений счетчик может быть выполнен на фотоэлементах с внешним фотоэффектом

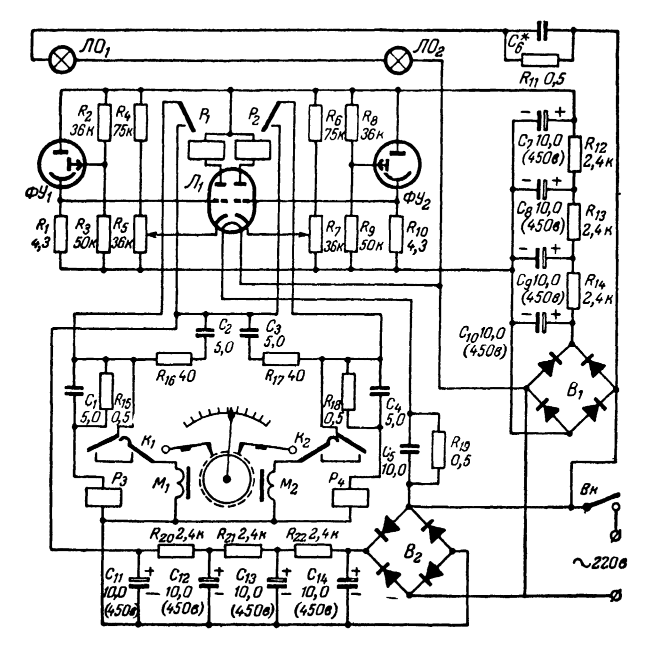


Рис. 20. Электрическая схема счетчика направленного действия на фотоумножителях.

(типов СЦВ-3, СЦВ-4 и др.) или на фотоумножителях (типов ФЭУ-1, ФЭУ-2 и др.) с применением усилителей постоянного тока.

На рис. 20 приведена схема счетчика с фотоумножителями типа ФЭУ-1. Для усиления постоянных токов фотоумножителей $ФУ_1$ и $ФУ_2$ применен двойной триод $Л_1$ типа 6Н8С. Обмотки реле P_1 и P_2 (типа РП-7) включены в анодные цепи этой лампы в качестве нагрузочных сопротивлений. На сетки лампы $Л_1$ подаются напряжения с делителей, образованных фотоумножителями и сопротивлениями R_1 и R_{10}. Накал этой лампы осуществляется от электросети через бумажный конденсатор C_5. Разряд конденсатора после отключения счетчика от электросети происходит через параллельно включенное конденсатору сопротивление R_{19}. Лампы осветителей $ЛО_1$ и $ЛО_2$ тоже питаются от элек-

тросети через конденсатор C_6, емкость в микрофарадах которого можно определить по формуле

$$C = \frac{3\,180 I_н}{\sqrt{U_с^2 - U_н^2}},$$

где $I_н$ — ток накала, *а*;

$U_с$ и $U_н$ — напряжения сети и накала, *в*

Контакты реле P_1 и P_2 шунтируются искрогасящими цепочками $R_{16}C_2$ и $R_{17}C_3$. Анодное напряжение для фотоэлектронного блока подается с селенового выпрямителя B_1 (типа АВС-25-54). Чтобы исключить влияние на работу фотоэлектронного блока понижения напряжения при срабатывании электромагнитов M_1 и M_2 (потребляющих сравнительно большой ток), питание цепей исполнительного узла производится от другого селенового выпрямителя B_2 (типа АВС-25-54).

Размыканием одного из ключей—K_1 или K_2 можно осуществить счет изделий, движущихся только в одном определенном направлении. Максимально допустимая скорость счета зависит в основном от времени срабатывания электромагнитов M_1 и M_2, а в случае использования в схеме фотосопротивлений также и от их инерционности.

8. Фотореле для контроля числа оборотов

С помощью фотореле можно контролировать скорость вращения, или, что то же самое, число оборотов вращающихся объектов. Преимуществом применения фотореле для этой цели является практическая безынерционность и отсутствие механической связи с объектом, скорость вращения которого контролируется. Фотоэлектрический счетчик оборотов является, например, единственным средством определения скорости снижения числа оборотов при выключении двигателя, так как любые механические счетчики (тахометры) будут искажать результаты измерений вследствие отбора ими части энергии вращения. Фотоэлектрический контроль скорости вращения может широко применяться и при ограниченном доступе к вращающимся объектам.

Принцип действия фотоэлектрических устройств для контроля скорости вращения состоит в измерении частоты фототока, возникающего в цепи фотоприемника при его освещении световым потоком, модулированным вращающимся объектом. Для модуляции светового потока может использоваться специальный дисковый модулятор или сам вращающийся вал, который для этого закрашивается через равные интервалы (параллельно оси) полосками черного и белого цвета. Освещение фотоприемника может осуществляться как проходящим (в случае применения дискового модулятора), так и отраженным пучком света.

Частота переменной составляющей фототока измеряется обычно одним из следующих способов: 1) измерением количества импульсов за определенный промежуток времени с помощью фотоэлектрического счетчика и секундомера; 2) с помощью электронного частотомера; 3) методом сравнения частоты пере-

менной составляющей фототока с частотой высокостабильного генератора, например, кварцевого или камертонного.

Простейший прибор для контроля числа оборотов состоит из фотореле с фотосопротивлением (см. рис. 15), электромеханического счетчика (СБ-1М/100 или СЭИ) и реле времени. Осветитель фотореле освещает вал с нанесенными на него черно-белыми полосками. При вращении вал модулирует отраженный пучок света, попадающий на фотосопротивление, в результате чего в его цепи возникают импульсы фототока. При включении устройства реле времени замыкает цепь питания фотореле и счетчик начинает отсчитывать число импульсов. Через определенное время реле времени размыкает цепь питания фотореле и счетчик останавливается. Показания электромеханического счетчика являются мерой числа оборотов. Максимальное число оборотов, доступное измерению, определяется предельной частотой работы электромеханического счетчика (для СБ-1М/100 она равна 100 *гц*). В случае применения перед счетчиком декатронов или других делителей частоты диапазон измерений может быть расширен. Однако в этом случае следует учитывать частотные свойства примененного фотоприемника.

Для контроля скорости вращения можно воспользоваться любым электронным измерителем частоты, на вход которого следует подавать импульсы с фотоприемника. Очевидно, в случае измерения больших скоростей вращения, соответствующих сравнительно высокой частоте (порядка 10—20 *кгц*), следует использовать вакуумные фотоэлементы. Если напряжение, подаваемое с нагрузки фотоэлемента на вход частотомера, недостаточно, то нужно использовать предварительное усиление. Для измерения частот от 10 *гц* до 20 *кгц* применяют обычно конденсаторные частотомеры с электронными или ионными реле.

Точность контроля рассмотренных здесь фотоэлектрических измерителей скорости вращения не превышает 1—2%. Более высокая точность (до 0,03%) может быть достигнута в более сложных приборах, принцип действия которых основан на сравнении частоты переменного фототока с частотой высокостабильного опорного генератора.

9. Фотореле для контроля уровня

Применяемые для контроля уровня оптические схемы фотореле приведены на рис. 21. Схема на рис. 21,*а* применяется для контроля уровня непрозрачных жидкостей. При достижении заданного уровня жидкость прерывает пучок света от источника *ЛО*, затемняет фотоприемник (обычно фотосопротивление) и вызывает срабатывание фотореле. Выходное реле либо включает сигнализацию, либо управляет вентилями или насосами впуска и слива жидкости. Если жидкость прозрачна, но обладает избирательным поглощением (интенсивно окрашена) в каком-то узком участке спектра, то для применения приведенной схемы в оптическом канале необходимо установить светофильтр, пропускающий только тот участок спектра, который максимально поглощается жидкостью.

Для прозрачных или слабоокрашенных жидкостей можно использовать схему с поплавком (рис. 21,*б*). Поплавок *1* находит-

ся в расширенной части трубки *2*, в которой измеряется уровень жидкости. При малом уровне поплавок находится в нижнем положении и световой пучок от источника *ЛО* попадает на фотосопротивление *ФС*. При увеличении уровня поплавок всплывает и прерывает световой пучок, вызывая срабатывание фотореле.

Обе схемы *а* и *б* на рис. 21 могут быть использованы не только для контроля уровня в тонких стеклянных трубках, но и для контроля уровня в широких сосудах, имеющих по диа-

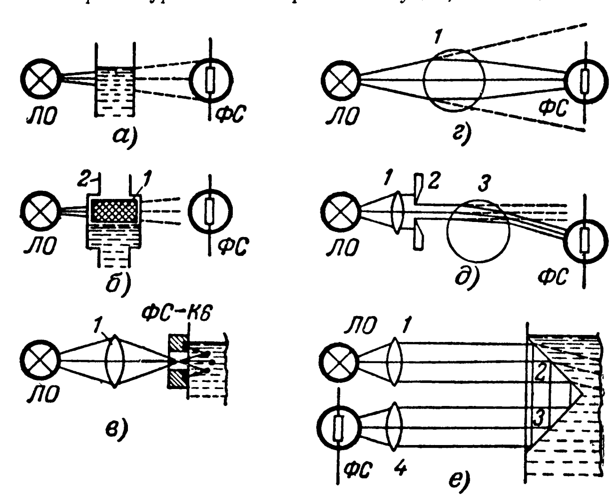


Рис. 21. Схемы для фотоэлектрического контроля уровня.

метру с противоположных сторон два прозрачных окошка. Для удержания поплавка по схеме на рис. 21,*б* в центральном положении применяют специальные направляющие устройства.

Для измерения уровня мутных жидкостей, например пульпы, может применяться схема, приведенная на рис. 21,*в*. Достоинством ее является простота конструкции фотореле, так как источник света и фотосопротивление расположены с одной стороны сосуда с жидкостью. В качестве фотоприемника в этой схеме используется фотосопротивление типа ФС-К6. Пучок света от источника *ЛО* фокусируется линзой *1* и проходит через отверстие фотосопротивления. При малом уровне жидкости пучок проходит через сосуд и, рассеиваясь, теряется. При повышении уровня пучок света рассеивается в мутной жидкости и, частично отражаясь, засвечивает светочувствительную поверхность фотосопротивления, вызывая срабатывание фотореле.

На рис. 21,*г*, *д* и *е* приведены схемы контроля уровня жидкости, основанные на явлении преломления света при прохождении границы раздела двух сред. При прохождении пучком света от источника *ЛО* трубки *1* без жидкости (рис. 21,*г*) или при малом

уровне направление лучей не изменяется, пучок рассеивается и лишь небольшая часть его попадает на фотосопротивление *ФС*. При увеличении уровня трубка с жидкостью будет уже играть роль собирательной линзы, концентрируя пучок света на светочувствительной поверхности фотосопротивления. В результате этого освещенность фотосопротивления резко возрастает и фотореле срабатывает.

Если узкий параллельный пучок света от источника *ЛО*, сформированный линзой *1* и диафрагмой *2*, направить эксцентрично на трубку *3* (рис. 21,*д*), то при отсутствии жидкости он

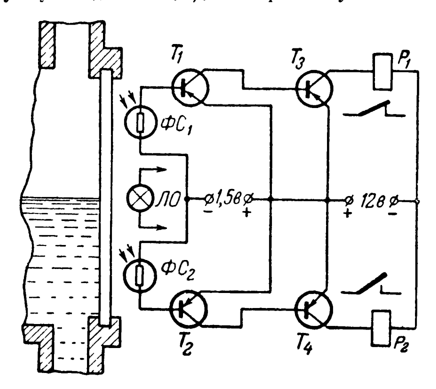


Рис. 22. Схема фотореле для регулирования уровня воды в паровых котлах.

пройдет без преломления, минуя фотосопротивление *ФС*. При прохождении пучка через трубку с жидкостью он отклонится к центру и засветит фотосопротивление, вызывая срабатывание фотореле. В этом случае трубка с жидкостью выполняет роль преломляющей призмы.

В последнее время большое распространение получила схема контроля уровня жидкости, приведенная на рис. 21,*е*. Ее действие основано на законе полного внутреннего отражения. В схеме используется прямоугольная равнобедренная призма, врезающаяся своей вершиной в сосуд с жидкостью, уровень которой нужно контролировать. При малом уровне жидкости призма находится в воздухе. Параллельный пучок света от осветителя, состоящего из источника *ЛО* и линзы *1*, попадает на грани призмы *2* и *3*, полностью отражается от них, фокусируется линзой *4* и попадает на фотосопротивление *ФС*. При увеличении уровня призма окажется в жидкости, и пучок света, испытывая преломление, пройдет в жидкость. Вследствие этого интенсивность отраженного пучка света и освещенность фотосопротивления резко уменьшатся, что вызовет срабатывание фотореле. Достоинство этой схемы, как и схемы на рис. 21,*в*, заключается в простоте конструкции фотореле. Кроме того, данная схема имеет то преи-

мущество, что она применима для контроля самых различных жидкостей независимо от их плотности, мутности, цветности и т. п.

Для осуществления приведенных на рис. 21 оптических схем контроля уровня могут быть применены различные электрические схемы фотореле как с промежуточными реле, так и с электронными усилителями.

Для поддержания уровня воды в паровых котлах применяется устройство, схема которого приведена на рис. 22. Фотосопротивления $ФС_1$ и $ФС_2$ (типа ФС-К2) установлены на водомерном стекле Клинкера на уровнях, соответствующих верхнему и нижнему предельным значениям. Если уровень воды достигает верхнего предельного значения, то световой поток от осветителя *ЛО*, попадающий на фотосопротивление $ФС_1$, уменьшается и контакты реле P_1, включенного на выходе усилителя постоянного тока транзистора, размыкают цепь питания магнитного пускателя, выключающего электродвигатель насоса. При достижении нижнего предельного значения уровня увеличивается освещенность фотосопротивления $ФС_2$ и срабатывает реле P_2. Его контакты включают через магнитный пускатель электродвигатель насоса. Транзисторы T_1 и T_2 питаются от гальванического элемента типа ФБС, а транзисторы T_3 и T_4 — от выпрямителя напряжением 12 *в*.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ФОТОРЕЛЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

10. Фотореле для контроля и регулирования температуры

При ведении ряда технологических процессов в различных отраслях промышленности основной задачей является автоматический контроль и регулирование температуры. Особенно удобно применение в этих случаях фотореле благодаря их простоте и дешевизне. Существуют различные способы контроля температур с помощью фотореле, простейшие из которых рассматриваются ниже. Для удобства изложения указанных способов подразделим применяемые средства на устройства для контроля низких (до 600° С) и высоких (свыше 600° С) температур.

Контроль низких температур. В основу методов контроля низких температур с помощью фотореле положено применение в качестве чувствительного элемента какого-либо «первичного» датчика, преобразующего изменение контролируемой (входной) величины в изменение выходного параметра. Такими выходными параметрами могут быть как электрические, так и неэлектрические величины. Изменение выходного параметра чувствительного элемента тем или иным способом воздействует на световой поток, облучающий фотоприемник фотореле. Таким образом, фотоприемник выполняет функцию «вторичного» датчика, а фотореле — функцию контроля.

Простейшим устройством для автоматического контроля температур является фотоэлектрическое устройство, схема которого

изображена на рис. 23. В качестве чувствительного элемента здесь применен термометрический датчик *ТД*, а в качестве индикатора—фотореле *ФР*. Устройство это работает следующим образом. Световой поток от осветителя *ЛО*, проходя через линзу *Л* и диафрагму $Д_1$, формируется в тонкий пучок и попадает в прорезь цилиндрической диафрагмы $Д_2$, насаженной на термометрический датчик. Устройство отрегулировано так, что в случает опускания столбика жидкости в датчике ниже прорези диафрагмы $Д_2$ пучок света попадает на фотоприемник *ФП*. В случае поднятия столбика жидкости пучок света прерывается (или ослабляется) и фотореле срабатывает.

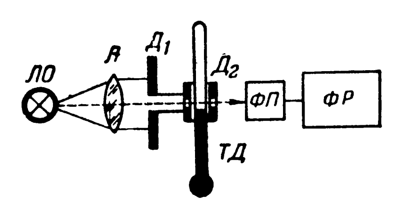


Рис. 23. Схема контроля низких температур с помощью фотореле.

Применение в качестве датчика ртутного термометра имеет ряд преимуществ по сравнению со спиртовыми термометрами. Основным преимуществом является возможность применения не очень чувствительного фотореле, так как столбик ртути полностью прерывает световой пучок. Однако ртутный термометр не применим при контроле температур ниже —30° С вследствие замерзания ртути. В случае применения спиртовых термометров световой пучок не прерывается, а лишь ослабляется, что приводит к необходимости использовать фотореле, обладающие повышенной чувствительностью. Фотоприемник для такого фотореле должен иметь максимальную спектральную чувствительность в области наибольшего поглощения света термометрической жидкостью, используемой в термометре. Для выделения участка максимальной спектральной чувствительности желательно применить светофильтр.

Описанное устройство позволяет работать в любом участке шкалы термометра благодаря тому, что диафрагма $Д_2$ может перемещаться вдоль него и закрепляться в любом месте. Если выходное реле соединить с каким-либо сигнальным устройством, то получится сигнализатор, оповещающий о достижении заданного значения температуры. Срабатывание фотореле может происходить как при освещении, так и при затемнении фотоприемника, в зависимости от того, какой процесс изменения температуры необходимо контролировать (повышение или понижение).

Температура объектов, где применение обычных средств термометрии затруднительно или совершенно исключено, может быть определена с достаточной точностью с помощью термочувствительных красок, наносимых на их поверхность. Эти краски представляют собой суспензию термочувствительного соединения и наполнителей в лаке на основе синтетических смол. Цвет термочувствительных красок резко изменяется, как только температура окрашенной поверхности достигнет определенного значения, называемого температурой перехода или критической температурой. Диапазон температур, в которых возможно измерение с помощью термочувствительных красок, лежит в преде-

лах 45—610° С. Точность измерения составляет ±10° С. При нагревании изделий до температуры 610° С краски дают промежуточное изменение цвета. Термокраски могут быть использованы для измерения температур движущихся деталей, объектов, находящихся под высоким напряжением, горячих поверхностей котлов, электрических машин и т. п.

Момент достижения контролируемым объектом критической температуры может быть зарегистрирован с помощью фотореле. В зависимости от условий могут применяться осветители и соответствующие светофильтры. Однако надо помнить, что фотоприемники, применяемые для этих фотореле, должны быть нечувствительны к инфракрасному излучению, так как иначе может произойти ложное срабатывание. С целью устранения влияния инфракрасного излучения могут применяться соответствующие светофильтры.

Контроль высоких температур. В основу метода контроля высоких температур с помощью фотореле положены принципы фотоэлектрической пирометрии. Эти фотореле, называемые в дальнейшем пирометрическими, могут быть построены либо по принципу частичного излучения, либо по принципу яркостных пирометров. В фотоэлектрических пирометрах частичного излучения используется вся или большая часть области спектральной чувствительности фотоприемников, а в яркостных пирометрах лишь узкая область спектральной чувствительности, которая выделяется с помощью соответственно подобранных светофильтров.

Пирометрические фотореле отличаются простотой по сравнению с фотоэлектрическими пирометрами и служат для контроля и сигнализации отклонения температуры объекта от заданного уровня. Примером пирометрического фотореле частичного излучения является описываемое ниже устройство, предназначенное для контроля температуры мелких заготовок при их электронагреве до ковочных температур (900—1 250° С). Это устройство использовалось на установке для контактного электронагрева стержней из стали марки Ст. 3 диаметром 16 *мм*. Применение фотореле в этой установке позволяет с высокой точностью отключать питание нагревательного трансформатора при скоростях нагрева до 400 *град/сек*. В качестве датчика используется фотосопротивление типа ФС-К2, имеющее относительно низкий температурный коэффициент при высокой чувствительности.

Электрическая схема фотореле приведена на рис. 24. Для достижения высокой чувствительности на входе устройства применена мостовая схема, в одно из плеч которой включено фотосопротивление *ФС*. Мост питается постоянным напряжением от выпрямителя B_2, собранного на четырех германиевых диодах типа Д7Ж. Выходное напряжение моста, суммируясь с отрицательным опорным напряжением, подается на вход спусковой схемы, собранной на двойном триоде $Л_1$.

Применение в первом каскаде устройства спусковой схемы обеспечивает высокую точность срабатывания, так как при этом исключается нестабильность момента срабатывания электромагнитного реле, присущая схемам с обычными усилителями. Это обусловлено тем, что при достижении заданной температуры нагрева спусковая схема формирует резкий перепад напряжения,

воздействующий на вход электронного реле, выполненного на лампе $Л_2$.

Спусковая схема имеет два устойчивых состояния. При отклонении температуры изделий от заданной измерительный мост будет разбалансирован и на его диагонали возникнет некоторое напряжение. Напряжение на сетке левого (по схеме) триода лампы $Л_1$ равно алгебраической сумме напряжений на сопротивлениях R_3 и R_4 напряжения разбаланса моста.

В случае, если температура изделий становится меньше заданной, напряжение разбаланса станет положительным и сум-

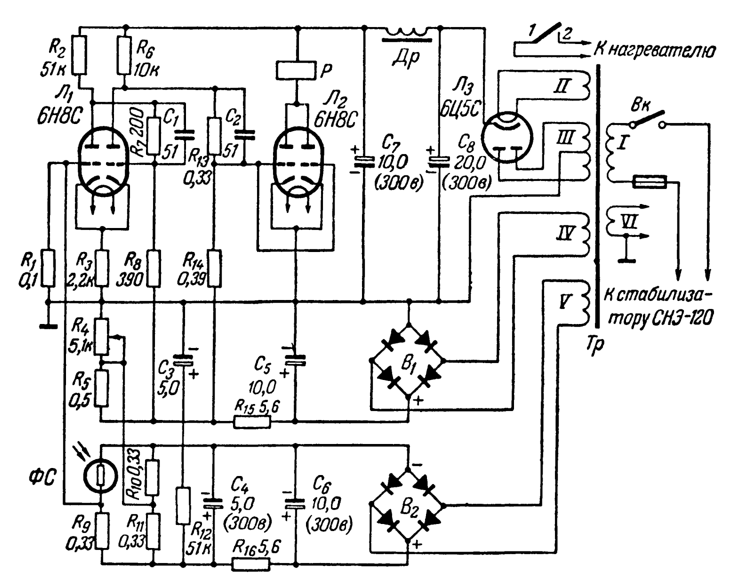


Рис. 24. Принципиальная схема пирометрического фотореле.

марное напряжение на входе спусковой схемы будет удерживать левый триод лампы $Л_1$ в отпертом состоянии. При этом правый триод этой лампы будет заперт, так как отрицательное смещение больше падения напряжения на сопротивлении R_8. В этом случае напряжение на аноде правого триода близко к напряжению источника питания и, следовательно, напряжение на сетке лампы $Л_2$ положительное. Лампа $Л_2$ при этом отперта, через обмотку реле P проходит ток, и контакты реле *1* и *2* замыкают цепь нагревателя.

При увеличении температуры изделий напряжение разбаланса моста уменьшается, и при некотором значении его, близком к нулю (баланс мостовой схемы), напряжение на сетке левого триода лампы $Л_1$ становится меньше напряжения отпирания. Тогда левый триод этой лампы запирается, а правый отпирается, причем напряжение на его аноде резко падает, что приводит к за-

пиранию лампы $Л_2$. Реле P при этом обесточивается, и его контакты размыкают цепь нагревателя.

Такое состояние схемы является устойчивым и практически сохраняется до момента выноса нагретой детали из поля «зрения» фотоголовки. В этом случае схема возвращается в исходное состояние. Порог срабатывания схемы устанавливается с помощью переменного сопротивления R_4.

С целью исключения влияния колебаний напряжения электросети на точность срабатывания фотореле питание последнего осуществляется через феррорезонансный стабилизатор напряжения типа СНЭ-120. Однако на точность срабатывания реле влияют и другие факторы. Это, во-первых, нестабильность чувствительности фотосопротивления и, во-вторых, изменение значения напряжения запирания лампы $Л_1$ вследствие изменения ее параметров или параметров схемы. Избавиться от первого источника погрешности можно путем применения в приборе фотосопротивления, предварительно подвергнутого искусственному старению (примерно 400 *ч*). Влияние второго источника погрешности, как показали расчеты, является незначительным. Так, изменение напряжения срабатывания спусковой схемы на $\pm 30\%$ от номинального значения вызывает погрешность в измерении температуры порядка 1 200° С на величину $\pm 5°$ С.

Фотореле состоит из двух отдельных блоков (не считая стабилизатора): выносной головки и электронного реле. Фотосопротивление со спусковой схемой смонтировано на каркасе, встраиваемом в подвижную трубу. Конец этой трубы является ограничительной блендой, предохраняющей фотосопротивление от засвечивания посторонним источником излучений. Торец трубы закрыт защитным стеклом. Подвижная труба может перемещаться в кольце со стойкой, закрепленной на корпусе нагревательной установки. Во втором блоке прибора, кроме электронного реле, смонтированы выпрямители. Выносная головка соединяется с блоком электронного реле гибким шлангом с разъемом.

Трансформатор питания выполнен на сердечнике из стальных пластин Ш-28, толщина пакета 50 *мм*. Обмотка I состоит из 465 витков провода ПЭЛ 0,44, обмотка II — из 28 витков ПЭЛ 0,5, обмотка III — из 2×1 025 витков ПЭЛ 0,1, обмотка IV — из 1 025 витков ПЭЛ 0,1, обмотка V — из 937 витков ПЭЛ 0,1 и обмотка VI — из 28 витков ПЭЛ 1,25.

Настройка фотореле сводится к установке при помощи переменного сопротивления R_4 порога срабатывания спусковой схемы, соответствующего заданному значению контролируемой температуры.

11. Фотореле для контроля качества поверхности

В ряде отраслей промышленности, например в машиностроении, бумажной, текстильной и особенно оптической промышленности, вопросы контроля качества поверхности имеют большое значение. В фотоэлектрических приборах для такого контроля используется зависимость интенсивности светового потока, отраженного контролируемой поверхностью, от качества (чистоты) поверхности. Чем ближе поверхность к зеркальной, тем больше

она будет отражать лучей на фотоприемник, и наоборот, при большой ее шероховатости свет будет рассеиваться во все стороны и лишь небольшая часть его попадает на фотоприемник. Таким образом, по интенсивности светового потока, падающего на фотоприемник, или, что то же, по величине фототока можно судить о степени чистоты поверхности.

Схема простейшего прибора для оценки качества поверхности (блескости) бумажного полотна приведена на рис. 25. Свет от лампы *ЛО* преобразуется линзой $Л_1$ в параллельный пучок и, падая под углом, близким к 75° (от нормали), на контролируемую поверхность *а—а*, отражается от нее, проходит сквозь диафрагму *Д*, ограничивающую пучок света, и линзой $Л_2$ фокусиру-

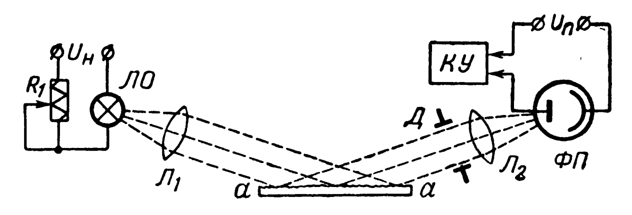


Рис. 25. Схема фотоэлектрического устройства для контроля качества бумажного полотна.

ется на светочувствительную поверхность фотоприемника *ФП*. Качество поверхности бумажного полотна фиксируется контрольным устройством *КУ*, которое в общем случае может представлять собой электронную схему либо с электромагнитным реле на выходе, либо (в случае необходимости) с показывающим или регистрирующим измерительным прибором. Для устойчивой работы все устройство необходимо питать от стабильного источника напряжения. Переменное сопротивление R_1 служит для регулирования тока накала лампы осветителя.

Лучшие результаты можно получить, если использовать для контроля чистоты поверхности дифференциальный метод измерения. Для этого свет от источника разделяется зеркалами на две части, и с помощью линз формируются два параллельных пучка. Первый пучок падает под углом и освещает бумагу. Конденсорная линза фокусирует отраженный свет на фотоприемник. Второй пучок падает на эталонную поверхность, отражается от нее и фокусируется на второй фотоприемник.

Большую помощь может оказать применение фотореле при разбраковке полированных поверхностей подшипников. Такое фотореле (рис. 26) состоит из осветителя (лампы *ЛО* и линзы *Л*), оптической системы микроскопа, фотоприемника *ФП* и реле *Р*. В оптическую систему микроскопа, состоящую из объектива *Об* и окуляра *Ок*, вводится посеребреная полупрозрачная пластинка *П*. Пучок света осветителя отражается от пластинки *П* и через объектив микроскопа попадает на контролируемую поверхность. Отразившись от нее, свет происходит сквозь ту же полупрозрачную пластинку и через окуляр микроскопа попадает на

фотоприемник. При хорошей полировке поверхности от нее отразится много света и реле *Р* сработает, пропуская деталь в приемный бункер годных изделий. При плохой полировке деталь отразит мало света, реле сработает и направит ее в бункер брака. В качестве фотоприемника в данной схеме можно применять фотосопротивления, фотодиоды или фототриоды. Такой спо-

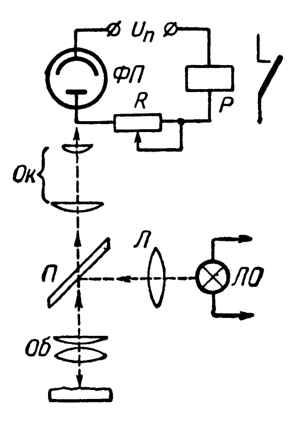


Рис. 26. Схема фотореле для разбраковки полированных поверхностей.

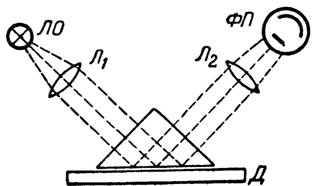


Рис. 27. Оптическая схема фотореле для контроля качества полированных поверхностей по способу «оптического контакта».

соб контроля применим в любой отрасли промышленности, где приходится иметь дело с полировкой поверхности деталей.

При контроле качества поверхности, обработанной с высокой степенью чистоты (например, при производстве оптических деталей), можно использовать зависимость изменения оптического контакта между образцовой стеклянной и контролируемой поверхностью от точности и чистоты обработки последней. Как известно, при падении пучка света на границу раздела стекло — воздух под углом, превышающим угол полного внутреннего отражения, пучок полностью отразится. Однако если со стеклом контактирует контролируемая поверхность, то в местах полного прилегания или, что то же, оптического контакта, пучок не отразится, а испытает преломление. В результате этого интенсивность отраженного пучка уменьшится тем больше, чем лучше контролируемая поверхность контактирует с образцовой. Оптическая схема фотореле для контроля качества поверхности по описанному способу приведена на рис. 27. Свет от точечного источника *ЛО*, находящегося в фокусе линзы $Л_1$, падает параллельным пучком (под углом 45°) на образцовую грань равнобедренной призмы, соприкасающуюся с контролируемой деталью *Д*, и, отражаясь от нее, фокусируется линзой $Л_2$ на фотоприемник *ФП*. Последний может быть включен в схему любого фотореле, управляющего разбраковкой деталей.

12. Фотореле для контроля процесса горения

При автоматизации котельных установок, промышленных печей и других теплотехнических агрегатов особое место занимают автоматические устройства контроля работы горелок. В ка-

честве таких устройств применяются преимущественно фотореле. Иногда фотореле используются для дистанционного поджигания горелки и контроля ее пламени. Чаще оно выполняет только вторую функцию, т. е. контролирует наличие пламени и в случае погасания горелки, закрывает вентили запальника магистрального газопровода, одновременно включая звуковой или световой сигнал.

Контроль наличия пламени горелки может быть осуществлен несколькими способами. Одним из таких способов является применение фотоприемника, реагирующего на ультрафиолетовое излучение с длиной волны 200—280 *ммк*, свойственное первой зоне горения топлива. Выбор такого участка длин волн дает возможность исключить мешающее излучение раскаленных предметов и стенок топки, лежащее в более длинноволновой части спектра. Для борьбы с мешающим излучением соседних горелок в фотореле применяются остроугольные оптические системы. В некоторых случаях для получения более стабильного излучения в контролируемую зону пламени вводится диск из тугоплавкого металла, на который визируется фотореле. Общая схема расположения такого устройства для контроля пламени приведена на рис. 28.

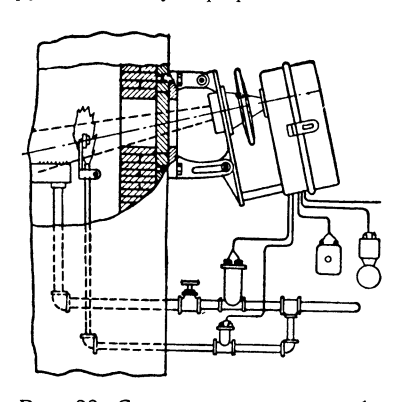


Рис. 28. Схема расположения фотоэлектрического устройства для контроля пламени.

Другим способом, позволяющим эффективно использовать инфракрасное излучение пламени, избежав при этом мешающего воздействия излучения раскаленных стенок топки, является модуляция излучения изменением подачи топлива с определенной частотой. В этом случае фотореле реагирует только на переменную составляющую лучистого потока, вызванную периодическими колебаниями подачи топлива.

Третий способ, позволяющий контролировать процесс горения, основывается на характерной для открытого пламени пульсации лучистого потока в широком спектре (от ультрафиолетового до инфракрасного). Как показали опыты, частоты пульсаций лежат в довольно широком диапазоне, однако наиболее вероятная средняя частота лежит в пределах 10—25 *гц*.

Прибор, использующий указанное свойство пламени, представляет собой фотореле с полосовым усилителем и поляризованным электромагнитным реле на выходе. В качестве фотоприемника в приборе используется фотосопротивление типа ФС-А1. Экспериментальная проверка показала возможность применения фотосопротивлений этого типа для работы в качестве датчиков наличия пламени, фиксирующих весьма малые изменения освещенности. Относительно малая амплитуда пульсаций пламени вызывает необходимость применения в приборе высокочувствительного поло-

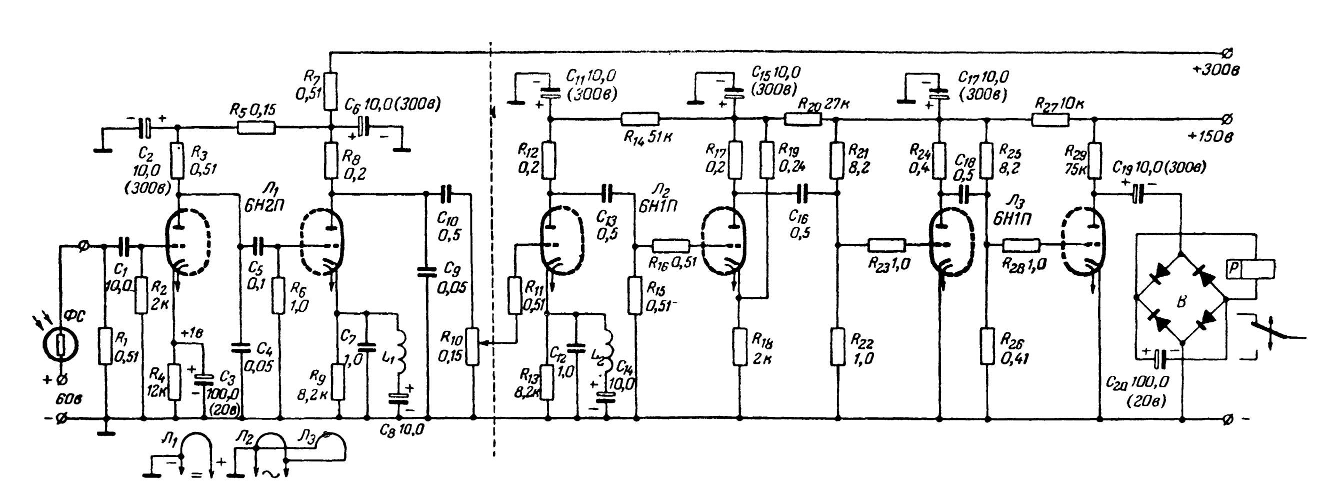


Рис. 29. Электрическая схема фотореле для обнаружения пламени.

сового усилителя. Чувствительность прибора довольна высока: он четко срабатывает от пламени спички, находящейся на расстоянии 5—6 *м* от датчика. В то же время источники с постоянным уровнем излучения (лампы накаливания, солнечный свет, нагретые стенки топок) этим фотореле не фиксируются. Дальнейшее увеличение чувствительности может быть достигнуто при использовании оптической системы, концентрирующей на фотоприемнике бóльшую, чем при непосредственном освещении, часть излучения пламени.

Электронный блок этого прибора состоит из усилителя и формирующего устройства (рис. 29). Первые два каскада усиления выполнены на двойном триоде $Л_1$. Второй каскад содержит цепь отрицательной обратной связи, состоящую из катушки L_1 и конденсаторов C_7 и C_8. Эта цепь обеспечивает подъем частотной характеристики на частоте 15 *гц* и резкий завал частот свыше 70 *гц*. Для снижения усиления в области высших частот в первых двух каскадах включены конденсаторы C_4 и C_9. Чтобы предупредить самовозбуждение усилителя, первая лампа его помещена в экранированный отсек и питание ее осуществляется от отдельного выпрямительного устройства.

Третий и четвертый каскады усилителя выполнены на двойном триоде $Л_2$. Третий каскад содержит цепь отрицательной об ратной связи L_2, C_{12}, C_{14}, которая по своим параметрам и назначению аналогична цепи второго каскада. Оба каскада на лампе $Л_2$ работают в режиме сеточного ограничения, что облегчает условия работы формирующего устройства.

Формирующее устройство, выполненное на лампе $Л_3$, предназначено для повышения устойчивости работы выходного реле. Подача положительного смещения на сетки лампы $Л_3$ и на катод правого (по схеме) триода лампы $Л_2$ вызывает ограничение сигнала по нижнему уровню и таким образом исключает возможность ложного срабатывания выходного реле, когда напряжение входного сигнала мало.

Общий коэффициент усиления устройства на частотах 16—17 *гц* составляет примерно 90 *дб*. Включенный на выходе прибора выпрямительный мост *B* собран на германиевых диодах типа Д7Ж. Выходное реле *P* — поляризованное типа РП-7. Питание прибора (включая датчик) может быть осуществлено либо от источника постоянного тока, либо от сети переменного тока через выпрямитель. В последнем случае для устранения фона переменного тока питание цепи накала первой лампы необходимо производить от выпрямителя. Напряжение, подаваемое на аноды лампы $Л_1$, необходимо стабилизировать. Напряжение источника питания фотодатчика определяется из условий допустимого темнового тока для фотосопротивления ФС-А1.

Прибор выполнен в виде отдельного блока размерами $200\times\times200\times300$ *мм*. Размеры его могут быть значительно уменьшены за счет применения транзисторов и малогабаритных деталей. Кроме указанной выше области применения, такой прибор может быть использован в качестве сигнализатора возникновения пламени в неохраняемых помещениях и складах, на которых хранятся легковоспламеняющиеся вещества.

13. Фотореле для контроля концентрации и мутности растворов

Фотоэлектрические методы контроля концентрации нашли широкое применение в различных производствах. При этом используются такие свойства контролируемых сред как поглощение света, рассеяние света на частицах мути, преломление света на границе раздела двух сред и др. Простота фотоэлектрических методов контроля концентрации, большая точность и быстродействие фотоэлектрических устройств позволяют эффективно использовать их в различных отраслях народного хозяйства.

Приборы, измеряющие концентрацию растворов по поглощению света, называются фотоколориметрами. На рис. 30 приведена схема простого одноканального фотоколориметра, представляющая собой фотореле, работающее в фотометрическом режиме Между источником света *ЛО* и фотоприемником *ФП* помещается кювета *К*, через которую протекает контролируемый раствор. Линзы $Л_1$ и $Л_2$ служат для формирования светового пучка нужной формы. При изменении интенсивности пучка света, проходящего через раствор, из-за изменения концентрации раствора меняется освещенность фотоприемника, что влечет за собой срабатывание реле *Р*. Контакты *1* и *2* реле могут включать устройство, сигнализирующее о достижении заданного значения концентрации, и с помощью соответствующего исполнительного устройства переключать протекающую через кювету жидкость из одного канала в другой, производя ее разделение по каким-либо фракциям, или же выполнять любые другие необходимые функции. Для увеличения чувствительности фотореле применяется светофильтр *С*, пропускающий свет в той части спектра, в которой происходит максимальное изменение интенсивности пучка света, проходящего через раствор.

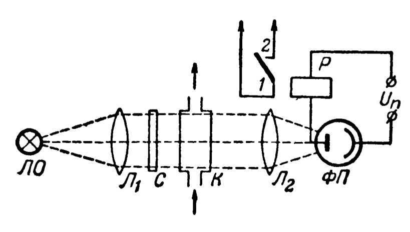


Рис. 30. Принципиальная схема фотоколориметрического реле.

Фотоприемник тоже следует подбирать с максимумом спектральной чувствительности в выбранной части спектра.

Контроль мутности раствора при большой его концентрации может осуществляться по той же схеме. При необходимости контроля малой величины мутности большей чувствительностью обладает нефелометрическая схема, в которой фотоприемник располагается под углом (обычно 90°) к направлению распространения освещающего раствор пучка света. В этом случае фотоприемник воспринимает интенсивность рассеянного на частицах мути света.

При контроле работы фильтров для определения проскока красителя в фильтрат разработано фотореле с незагрязняющейся кюветой. При проскоке краситель сильно загрязняет стенки кюветы, и периодически промывка водой

не дает положительных результатов. В разработанной конструкции цилиндрической кюветы (рис. 31) струя фильтрата соприкасается только с поверхностью непрерывно протекающей промывной воды, что полностью устраняет возможность загрязнения стенок кюветы. Кювета, заполненная жидкостью, одновременно выполняет роль собирательной линзы, повышая освещенность фотосопротивления. В фотореле применяется простейшая схема последовательного соединения фотосопротивления *ФС* (типа ФС-К1) и реле *Р* (типа РКН). Выпрямитель *В*, собранный на диодах типа Д7Г, служит для питания реле постоянным током. Ввиду того что токи срабатывания и отпускания реле РКН различны, в схему включена неоновая лампа *НЛ* (типа МН-3), позволяющая свести это различие к минимуму. Питание фотореле

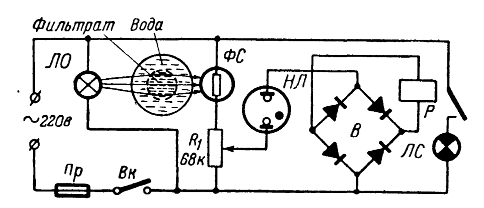


Рис. 31. Схема фотоколориметрического реле с незагрязняющейся кюветой.

производится от электросети переменного тока напряжением 220 *в*. Для настройки фотореле на критическую концентрацию красителя, при которой необходима сигнализация, служит потенциометр R_1 и пяточный винт якоря реле РКН.

Несмотря на простоту описанных одноканальных устройств, их применение ограничено, так как при работе фотореле в фотометрическом режиме возникают большие погрешности, связанные в основном с нестабильностью напряжения питания источника света и измерительной схемы, а также с нестабильностью параметров фотоприемника. Более совершенными являются двухканальные (дифференциальные) фотореле с применением двух пучков (контролируемого и образцового) от одного источника света и двух идентичных фотоприемников. Ввиду того что контроль в этом случае осуществляется путем сравнения интенсивности двух пучков света от одного источника, указанные погрешности в значительной мере компенсируют друг друга.

Подбор двух идентичных по своим параметрам фотоприемников, особенно полупроводниковых (фотодиоды, фототриоды, фотосопротивления), представляет некоторые трудности. Для того чтобы их избежать, применяются схемы с попеременным сравнением интенсивности контролируемого и образцового пучков света, падающих на один и тот же фотоприемник.

В ряде случаев степень готовности какого-либо продукта при его производстве может быть определена по величине показателя преломления. Так, например, по величине этого показателя можно контролировать процесс выпаривания томатного сока. Для определения конца выпаривания применяется рефрактометр пре-

дельного угла отражения, представляющий, по существу, фотореле барьерного действия.

Оптическая схема такого фотореле приведена на рис. 32,*а*. Стеклянная призма *П* частично погружена в протекающую жидкость — томатную массу. Угол падения параллельного пучка света α в соответствии с технологическими условиями подбирается так, чтобы при большом содержании воды в соке пучок на границе стекло — сок испытывал полное внутреннее отражение. По мере выпаривания показатель преломления раствора увеличивается, и при некотором его значении пучок преломляется и проникает в сок. Затем он по светопроводу *С* попадает на фотоприемник *ФП*, в результате чего фотореле срабатывает и подает сигнал о достижении раствором определенной концентрации, соответствующей окончанию процесса.

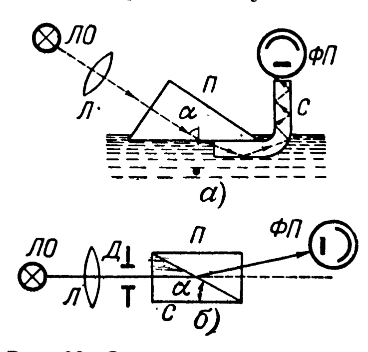


Рис. 32. Оптические схемы рефрактометрических фотореле.
а — по предельному углу отражения; *б* — с дифференциальной кюветой.

Для контроля концентрации прозрачных жидкостей могут быть применены однолучевые дифференциальные схемы контроля показателя преломления (рис. 32,*б*). Параллельный пучок света от лампы *ЛО* и линзы *Л* проходит через диафрагму *Д* и дифференциальную кювету, состоящую из проточной *П*, через которую протекает контролируемая жидкость, и сравнительной *С* частей. При одинаковой концентрации (показателе преломления) жидкостей, находящихся в обеих частях дифференциальной кюветы, пучок света пройдет через нее без преломления (штриховая прямая). При увеличении концентрации пучок начнет отклоняться и при достижении заданной величины попадет на фотоприемник *ФП*, вызывая срабатывание фотореле. Перемещая фотоприемник, можно изменять настройку момента срабатывания фотореле на различные концентрации. Для получения высокой чувствительности в осветителе следует применить достаточно мощную лампу, а также оптическую систему, создающую строго параллельный пучок света. Расстояние между кюветой и фотоприемником необходимо выбрать достаточно большим. Чувствительность такого фотореле сильно зависит от выбора угла α дифференциальной кюветы.

14. Фотореле для контроля расхода жидкостей и газов

При автоматизации технологических процессов большое значение приобретают контроль и регулирование расхода жидкостей и газов. В зависимости от характера прохождения контролируемой среды по трубопроводу используются объемные расходомеры (счетчики) или расходомеры непрерывного действия. Если

жидкость находится в каком-нибудь сосуде с одинаковым сечением по высоте, то измерение разности уровней до и после его заполнения определяет объем жидкости. Зная время заполнения этого объема, можно определить расход жидкости.

Для определения расхода жидкости по этому способу применяется устройство, схема которого приведена на рис. 33,*а*. При открытом электромагнитном вентиле *1* и закрытом вентиле *2* жидкость начнет заполнять мерный сосуд *3*. При достижении ею уровня осветителя $ЛО_1$ уменьшается освещенность фотосопротивления $ФС_1$ и нормально замкнутые контакты реле P_1 включают электросекундомер *ЭС*. Таким же образом при достижении жид-

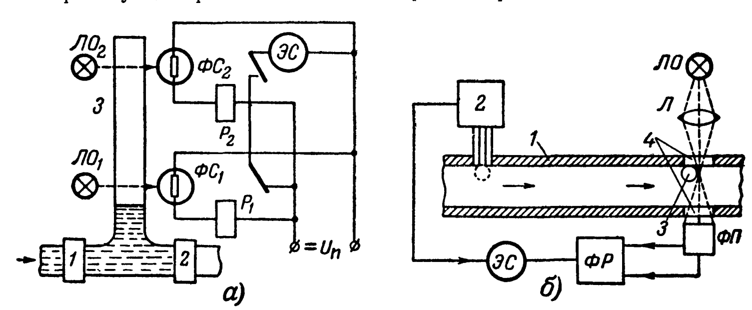


Рис. 33. Схемы фотоэлектрических устройств для контроля расхода жидкостей.

костью уровня осветителя $ЛО_2$ нормально открытые контакты реле P_2 размыкают цепь питания секундомера. Одновременно с этим закрывается вентиль подачи жидкости *1* и открывается вентиль *2* на слив. Таким путем можно периодически контролировать расход жидкости, протекающей в каком-либо трубопроводе. Электросекундомер можно проградуировать непосредственно в единицах расхода (объем в единицу времени). В зависимости от оптических свойств жидкости могут применяться те или иные оптические схемы фотореле для контроля уровня, описанные в § 9.

В расходомерах непрерывного действия измеряется скорость потока. Зная ее величину и проходное сечение трубопровода, нетрудно определить расход жидкости. Обычно для измерения скорости потока прозрачных жидкостей применяются фотоэлектрические турбинные расходомеры. В потоке жидкости устанавливается крыльчатка, помещенная в подшипниках с малым трением и вращающаяся под действием движущегося потока. Крыльчатка при вращении периодически пересекает пучок света фотореле, модулируя его по частоте. Чем больше расход, тем быстрее протекает жидкость и вращается крыльчатка, тем выше частота модуляции пучка. Следовательно, контроль расхода сводится к контролю числа оборотов, описанному в § 8.

Контроль расхода турбинными расходомерами имеет свои недостатки, которые заключаются в сложности установки крыльчатки в потоке, сложности фотореле для контроля частоты и др.

Поэтому для контроля расхода в потоке там, где это возможно, применяется более простой метод «оптических» меток. Для этого в потоке создаются оптически непрозрачные метки из какого-либо порошка, периодически вводимого в поток с помощью специального дозатора. Фотоэлектрическое устройство определяет время прохождения непрозрачных меток потока (пропорциональное его скорости) от места их формирования до участка трубопровода, просвечиваемого источником света. Однако недостатком этого метода является загрязнение потока при вводе в жидкость порошка, что часто бывает недопустимым.

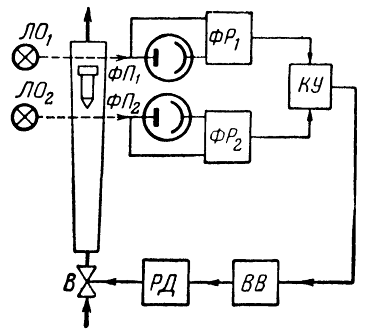


Рис. 34. Схема фотоэлектрического позиционного регулятора расхода.

Для устранения загрязнения в качестве «оптической» метки может быть использован пузырек газа (воздуха), химически не взаимодействующего с протекающей жидкостью и не загрязняющего ее. Пузырек газа (рис. 33,*б*) вводится в трубопровод *1* с помощью блока *2*, одновременно с этим включающего электросекундомер *ЭС*. Пучок света от осветителя *ЛО* фокусируется линзой *Л* в месте его пересечения с пузырьком газа *3*, который, двигаясь со скоростью потока, проходит прозрачные окна *4* и прерывает пучок света. Фотоприемник *ФП* затемняется и фотореле *ФР* срабатывает, останавливая электросекундомер. Время, отсчитываемое электросекундомером, пропорционально скорости потока, т. е. его расходу. Измерение расхода может производиться автоматически, через определенные промежутки времени. После прохождения пузырьком окошка в трубопроводе он при необходимости может быть легко удален из жидкости.

Создание оптических меток применяется также для измерения скорости высокотемпературного потока. В этом случае в высокотемпературный поток периодически вводятся определенные дозы вещества, которое, нагреваясь от потока, дает излучение определенного спектрального состава. Такие излучающие метки проходят мимо прозрачного окна трубопровода, за которым расположен фотоэлектрический приемник с избирательной спектральной чувствительностью. Последний при прохождении мимо него излучающей метки дает электрический импульс на вход соответствующей измерительной схемы. В таких устройствах расстояние между местом введения метки и прозрачным окном трубопровода надо выбирать исходя из того, чтобы метка успела дать оптическое излучение, подходя к окну.

Фотореле могут с успехом использоваться и для регулирования расхода. В этом случае в качестве «первичного датчика» применяется ротаметр с поплавком (рис. 34). По высоте его располагаются фотореле $ФР_1$ и $ФР_2$ с осветителями $ЛО_1$ и $ЛО_2$ так, что их световые пучки определяют верхний и нижний пределы

регулирования. С увеличением расхода поплавок поднимается, прерывает пучок от осветителя $ЛО_1$, и фотоприемник $ФП_1$ затемняется. При этом срабатывает фотореле $ФР_1$ и в командное устройство *КУ* подается сигнал, который приводит в движение реверсивный двигатель *РД*, управляющий вентилем *В*. Вентиль уменьшает проходное сечение трубопровода и скорость потока. При уменьшении расхода реверсивный двигатель открывает вентиль, поддерживая расход постоянным. Таким образом, поплавок, периодически колеблясь, поочередно затемняет фотоприемники. Последнее приводит к непрерывному колебанию расхода около некоторого среднего его значения. Для уменьшения этих колебаний в схеме имеется блок выдержки времени *ВВ*. Для предотвращения выхода поплавка из зоны действия обоих фотоприемников в командном устройстве осуществлена взаимная блокировка фотореле.

15. Фотореле для автоматического взвешивания

С помощью фотореле обычные стрелочные весы можно приспособить для автоматической разбраковки изделий по весу и автоматического взвешивания определенной порции (дозирования). Для автоматической разбраковки изделий по весу в шкале стрелочных весов просверливают два отверстия, соответствующие нижнему и верхнему допустимым пределам веса изделия. По одну сторону шкалы устанавливаются два осветителя, проецирующих через отверстия пучки света на два фотоприемника, установленные по другую сторону шкалы. К стрелке весов прикрепляется непрозрачный флажок, перекрывающий отверстие в их шкале. Если изделие имеет нормальный вес, то стрелка с флажком стоит посередине между отверстиями. В этом случае оба фотоприемника освещены и изделие попадает в бункер с годными изделиями. Если же изделие весит больше или меньше нормы, то стрелка весов отклонится в одну или другую сторону и флажок перекроет какой-либо пучок света. В результате этого сработает одно или другое фотореле и включит электромагнитный сбрасыватель, который удалит бракованное изделие с весов.

При автоматическом взвешивании (дозировании) сыпучих материалов применяются весы со шкалой, имеющей вместо обычных делений отверстия. Оператор устанавливает головку фотореле против отверстия, соответствующего нужному весу, и включает осветитель. Фотореле срабатывает, замыкая контакты, приводящие в действие загрузочный бункер. Отвешиваемый сыпучий материал начинает поступать в приемник, а стрелка весов начинает свое движение вдоль шкалы. Когда флажок перекроет отверстие, соответствующее необходимому весу, фотореле отпустит и прекратит подачу материала.

Часто для более точного дозирования используются два фотореле. Первое из них устанавливается против деления шкалы, соответствующего 85—90% номинального веса, а второе против деления, соответствующего номинальному весу. При пересечении флажком, укрепленным на стрелке весов, пучка света первого фотореле включается электромагнитная заслонка, отсекающая часть потока сыпучего материала (режим досыпки). При достижении номинального веса флажок на стрелке весов прерывает

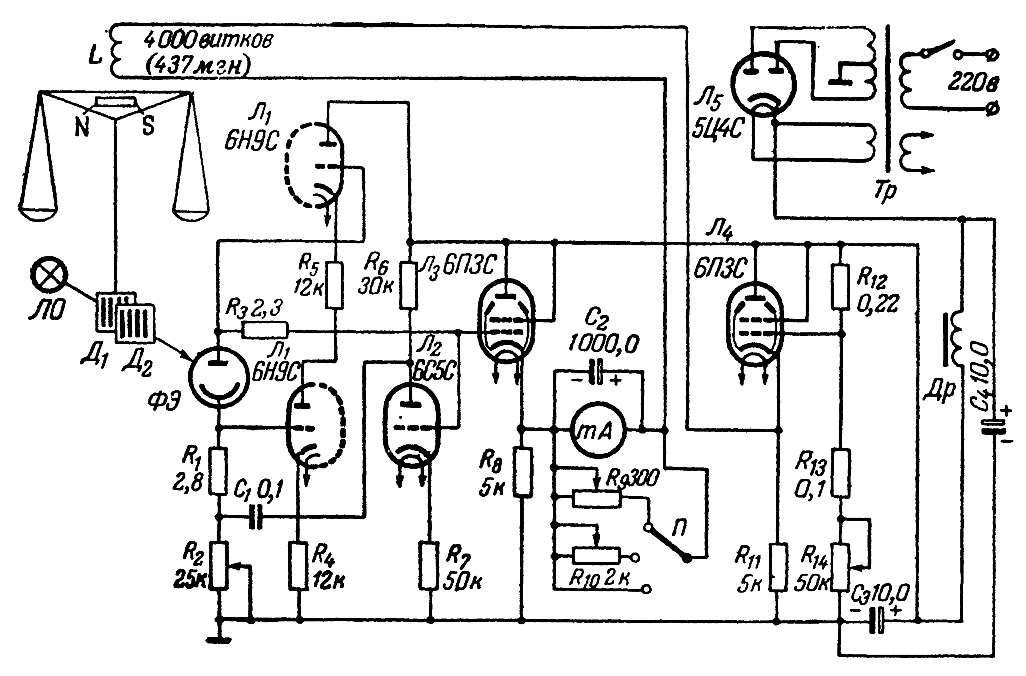


Рис. 35. Схема фотоэлектрической приставки к аналитическим весам.

пучок света второго фотореле, которое закрывает загрузочный бункер, заканчивая дозирование одной порции.

В фотореле весоизмерительных устройств, работающих по принципу светового барьера, наибольшее применение нашли полупроводниковые фотоприемники (фотосопротивления, фотодиоды и фототриоды) как наиболее малогабаритные и обеспечивающие притом же получение сравнительно большого фототока, что позволяет обходиться без усилителей и разрабатывать простые, надежные и компактные устройства.

Широкое распространение получили фотоэлектрические приставки к аналитическим весам, превращающие весы в автоматические приборы, с помощью которых можно определить непрерывную функциональную зависимость веса от времени, температуры или других параметров, характеризующих контролируемый процесс.

Схема фотоэлектрической приставки к равноплечим аналитическим весам типа ВА-200 завода «Госметр» приведена на рис. 35. На конце стрелки жестко укреплена диафрагма $Д_1$ — небольшая тонкая текстолитовая пластинка, в которой сделан ряд равностоящих прорезей, параллельных оси стрелки. Против этой диафрагмы на станине весов неподвижно укреплена другая такая же диафрагма $Д_2$. Пучок света от осветителя *ЛО* проходит прорези обеих диафрагм и падает на фотоэлемент *ФЭ*, включенный на вход усилителя постоянного тока. Примененная оптическая схема обеспечивает большую чувствительность к смещению стрелки весов, так как при малейшем смещении прорезей диафрагм друг относительно друга значительно изменяется интенсивность светового потока, падающего на фотоэлемент.

Первый, последовательно-балансный каскад усилителя собран на двойном триоде $Л_1$. Нагрузочные сопротивления фотоэлемента (типа СЦВ-3) включены в цепи сеток лампы $Л_1$ последовательного каскада, усиление которого в данных условиях относительно напряжения на одном из нагрузочных сопротивлений фотоэлемента выражается соотношением

$$K = -\mu,$$

где μ — статический коэффициент усиления триода лампы $Л_1$.

Поскольку μ триода почти не зависит от анодного тока, усиление триода весьма постоянно во времени и дрейф последовательного каскада очень мал.

Оконечный усилительный каскад, представляющий собой асимметричный параллельно-балансный повторитель с большой раскачкой, выполнен на лампах $Л_3$ и $Л_4$. Коэффициент передачи балансного повторителя отличается большим постоянством, благодаря чему дрейф его весьма мал. Нагрузка этого каскада, включенная между катодами его ламп, состоит из миллиамперметра *mA* (на 10 *ма*), соединенного последовательно с катушкой *L*, магнитное поле которой воздействует на поле постоянного магнита, жестко укрепленного посередине коромысла весов.

Для обеспечения устойчивой работы весов, т. е. гашения качаний, на вход усилителя подается производная выходного напряжения первого каскада усилителя по времени. Дифференцирующим контуром служит переменное сопротивление R_2 и конденсатор C_1. Сигнал для дифференцирования берется с анода

лампы $Л_2$, сетка которой присоединена к выходу первого каскада усилителя. Усиление лампы $Л_2$ выбрано малым, так как основное назначение ее заключается в сдвиге фазы напряжения, которое необходимо для компенсации сдвига фазы первым каскадом. После настройки схемы дифференцирования (переменным сопротивлением R_2) постукивание рукой по столу, на котором установлены весы, или падение навески на чашку весов с высоты 10 *см* не влияет на устойчивость системы. Время взвешивания определяется временем установления отклонения стрелки выходного прибора и составляет 1—2 *сек.*

При необходимости контроля за достижением заданного веса описанную фотоэлектрическую схему нетрудно приспособить для работы в релейном режиме. Если вместо миллиамперметра в схему включить регистрирующий прибор, то ее можно использовать для записи изменений веса в течение длительного времени.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ФОТОРЕЛЕ ДЛЯ ДРУГИХ СЛУЧАЕВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

16. Фотореле для контроля обработки рулонных материалов

В поточном производстве рулонных материалов фотореле может быть использовано как в качестве сигнализатора, так и в ка-

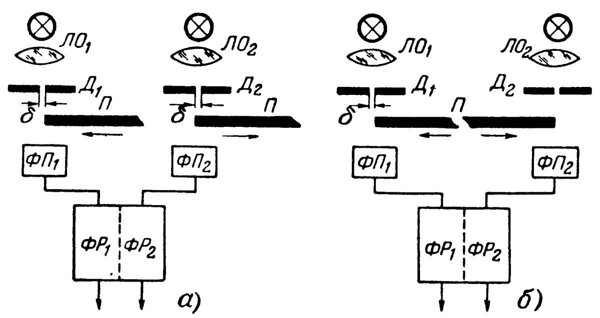


Рис. 36. Схемы регулирования боковой приводки полотна.

честве позиционного регулятора. Рассмотрим основные случаи возможного применения фотореле для контроля и управления при обработке таких материалов.

При производстве и обработке рулонных материалов (бумага, текстиль, металл) большое значение имеет контроль и регулирование боковой приводки полотна таким образом, чтобы край его (кромка) проходил по строго указанной линии. Существует несколько вариантов взаимного расположения осветителей и фотоприемников фотореле по отношению к кромке контролируемого полотна.

На рис. 36,*а* приведена схема регулирования боковой приводки полотна по одной кромке. Оба осветителя ($ЛО_1$ и $ЛО_2$) и фотоприемника ($ФП_1$, $ФП_2$) располагаются вдоль кромки по одну ее сторону так, чтобы при нормальном положении движущегося полотна *П* один из фотоприемников был освещен, а другой затемнен его краем. Каждый фотоприемник включен в схему фотореле, управляющего включением исполнительного электродвигателя, причем одно из них ($ФР_1$) настроено на срабатывание при затемнении, а другое ($ФР_2$) — при освещении фотоприемника. При сдвиге контролируемого полотна влево его край пересечет пучок света, падающий на фотоприемник $ФП_1$, что вызовет срабатывание фотореле $ФР_1$. При этом контакты выходного реле замкнут цепь исполнительного электродвигателя, который переместит полотно в нужном направлении. При сдвиге полотна вправо на фотоприемник $ФП_2$ попадает пучок света от осветителя $ЛО_2$ и сработает фотореле $ФР_2$, что также приведет к возвращению полотна в нормальное положение.

При расположении осветителей и фотоприемников по обе стороны движущегося полотна, как показано на рис. 36,*б*, оба фотореле настраиваются на срабатывание при затемнении фотоприемника. При нормальном положении полотна оба фотоприемника освещены и выходные реле обоих фотореле отпущены. При смещении полотна вправо или влево от нормального положения край его прерывает пучок света одного из осветителей, что приводит к срабатыванию соответствующего фотореле и включению исполнительного электродвигателя, который будет перемещать полотно до тех пор, пока пучок света снова не попадет на фотоприемник.

Для регулирования боковой приводки могут быть применены любые типы фотореле (как с усилителем, так и без него). Точность удержания полотна в заданном положении зависит от взаимного положения осветителя *ЛО*, диафрагмы *Д*, кромки полотна *П* и фотоприемника *ФП*. Если край полотна в исходном положении будет совпадать с краем отверстия диафрагмы, то смещение его на величину δ приведет к срабатыванию фотореле. Если необходимы только контроль и сигнализация, то можно применить одно обычное фотореле. Для этого расположение осветителей и фотоприемников должно быть выполнено в соответствии с рис. 36,*б*. Оба фотоприемника соединяются последовательно, а в качестве выходного элемента выбирается реле с двумя нормально открытыми и нормально замкнутыми контактами. Прерывание одного из световых пучков приведет к возрастанию сопротивления входной цепи фотореле и его срабатыванию. Если при этом обе пары контактов выходного реле включить в цепь питания двух сигнальных ламп, то одна из них будет сигнализировать о нормальном положении контролируемого полотна, а другая о его смещении. Однако в этом случае фиксируется только факт смещения полотна (независимо от его направления).

Если контролируемое полотно частично пропускает свет, то чувствительность обоих фотореле необходимо отрегулировать так, чтобы они не срабатывали от светового пучка, попадающего на фотоприемник через полотно. Этого же можно добиться, увеличивая расстояние между осветителем и фотоприемником.

На рис. 37 приведена принципиальная схема простого фотоэлектрического устройства, применяемого на предприятиях ФРГ для контроля и регулирования боковой приводки бумажного полотна в бумагоделательной машине. Контроль и регулирование осуществляются по обеим сторонам полотна, как показано на рис. 36,*б*.

Это устройство состоит из двух идентичных каналов, каждый из которых представляет собой обычное фотореле. В качестве фотоприемников в схеме применены фотодиоды $ФД_1$ и $ФД_2$ типа

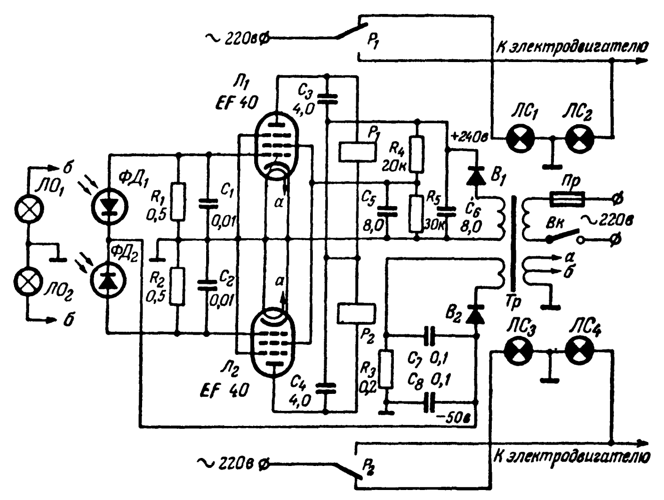


Рис. 37. Схема фотоэлектрического устройства для контроля и регулирования боковой приводки бумажного полотна.

ТР50 с площадью светочувствительной поверхности менее 1 *мм*^{2}. При освещенных фотодиодах на управляющих сетках ламп $Л_1$ и $Л_2$ получается отрицательное смещение порядка 18 *в* и лампы оказываются запертыми. При смещении полотна один из световых пучков прерывается, сопротивление фотодиода $ФД_1$ или $ФД_2$ резко возрастает и отрицательное смещение на сетке лампы ($Л_1$ или $Л_2$) уменьшается до 2 *в*. Лампа отпирается, и ее анодный ток (4 *ма*), проходя через обмотку электромагнитного реле, вызывает его срабатывание. Контакты выходных реле управляют цепью питания исполнительных электродвигателей и сигнальных ламп, сигнализирующих о включении или отключении того или иного электродвигателя.

Чтобы исключить срабатывание устройства при случайных мгновенных прерываниях светового потока, обмотки выходных реле шунтированы конденсаторами C_3 и C_4; это обеспечивает постоянную времени схемы, равную 0,15 *сек*. Лампы осветителей (6 *в*, 5 *вт*) питаются пониженным напряжением 5,5 *в*, что увеличивает срок их службы с 200 до 2 000 *ч*. Точность регулирования

ленты составляет ±1 *мм*. Применяемые в этом устройстве лампы EF40 могут быть заменены отечественными пентодами типа 6Ж3П.

Рассмотренные схемы фотореле могут быть выполнены как в виде нескольких, так и в виде одного блока. В первом случае осветители и фотоголовки монтируются непосредственно у кромок контролируемого полотна, а электронный блок и блок питания выносятся на пульт управления или в другое место. При

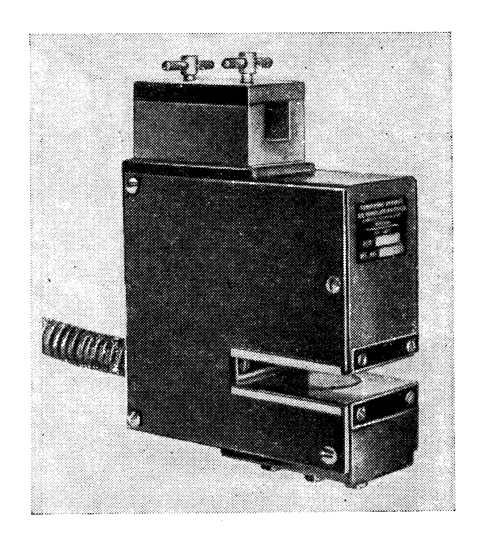


Рис. 38. Внешний вид выпускаемого в Англии фотоэлектрического устройства для контроля и регулирования боковой приводки полотна.

одноблочной конструкции устройство располагается у одной из кромок, причем осветители и фотоприемники размещаются внутри него. Внешний вид такого устройства (выпускается в Англии) показан на рис. 38.

Другим случаем применения фотореле является контроль и регулирование натяжения полотна в процессе его движения. С этой целью в месте, где согласно условиям технологического процесса необходимо контролировать натяжение, устанавливается подпружиненный валик *В*, изменяющий свое положение в зависимости от степени натяжения полотна (рис. 39). Системой рычагов *Р* валик связывается с заслонкой *З*, которая при его перемещении перекрывает один из световых пучков, попадающих на фотоголовки Φ_1 или Φ_2, что приводит к срабатыванию фотореле ΦP_1 или ΦP_2. Как и в рассмотренном выше случае, фотореле выполняет здесь функцию трехпозиционного регулятора, воздействуя на тормозное устройство контролируемого агрегата. Точно так же может быть осуществлено регулирование свободно ви-

сящей петли, которая бывает необходима при резке рулонных материалов между подающим барабаном и режущим устройством. Так как применяемые для этой цели фотореле ничем не отличаются от рассмотренных выше, мы не будем останавливаться на их описании.

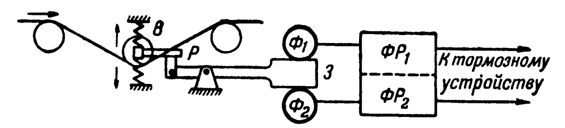


Рис. 39. Регулирование натяжения полотна с помощью фотореле.

17. Фотореле для управления осветительными установками

Своевременное включение и выключение искусственного освещения дает возможность получить значительную экономию электроэнергии. Автоматизация указанного процесса может быть довольно просто осуществлена с помощью несложных фотоэлектрических реле, работающих в фотометрическом режиме.

Необходимо отметить, что к таким устройствам предъявляются специальные требования, обусловленные практикой эксплуатации и проектирования установок наружного освещения. Согласно этим требованиям фотоэлектрические устройства можно разделить на две группы: 1) устройства, используемые в системах централизованного управления уличным освещением больших открытых пространств и городов для целей управления и сигнализации, и 2) устройства для непосредственного управления маломощными установками наружного освещения дворовых территорий, производственных помещений и т. п.

Фотоэлектрические устройства первой группы имеют вспомогательное значение включения и могут использоваться либо для автоматизации процесса включения и отключения освещения, либо для подачи диспетчеру сигнала о снижении или увеличении естественной освещенности до заданной величины. К этим фотоэлектрическим устройствам предъявляются жесткие требования в отношении точности включения и выключения освещения по заданной освещенности. Это обусловлено значительными перерасходами электроэнергии при раннем включении или позднем отключении мощных установок наружного освещения. Точность срабатывания таких устройств должна находиться в пределах $\pm 0{,}5$ *лк*, что превосходит возможности глаза в оценке освещенности. Менее жесткие требования предъявляются к устройствам второй группы. Эти устройства должны быть по возможности простыми и рассчитанными на эксплуатацию их малоквалифицированным персоналом. Точность срабатывания маломощных устройств допустима в пределах ± 3 *лк*. Такая точность в переводе на время при наступлении сумерек составляет ± 5 *мин*.

Принципиальная схема фотореле, предназначенного для управления наружным освещением больших пространств, изображена на рис. 40,*а*. В качестве датчика освещенности в схеме

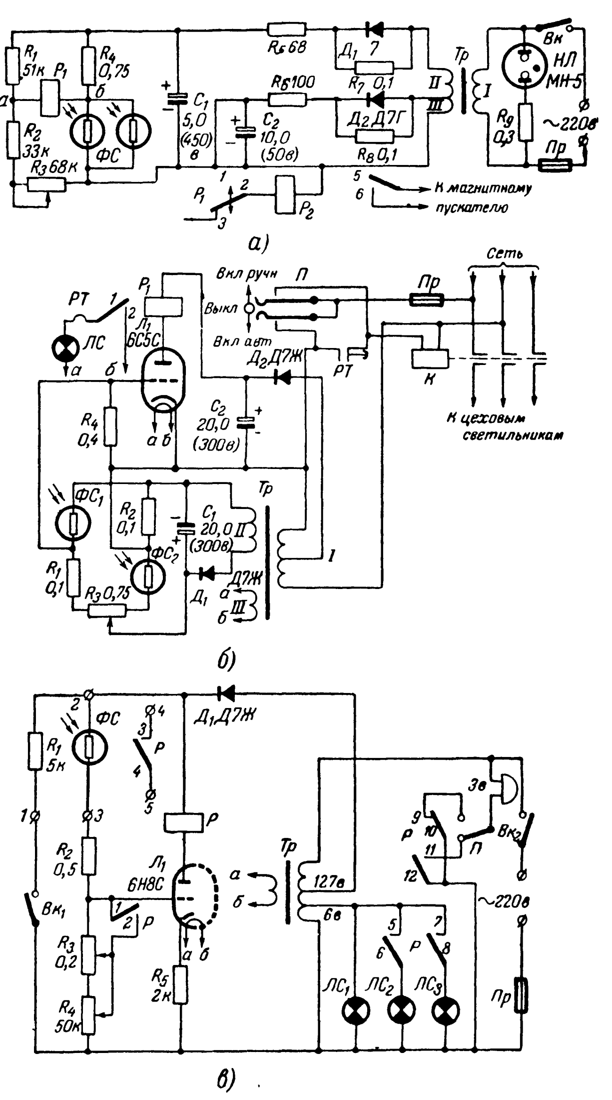


Рис. 40. Схемы фотореле для управления искусственным освещением.

применены два фотосопротивления типа ФС-К1, которые включены параллельно в одно из плеч моста, питаемого однополупериодным выпрямителем с германиевым диодом $Д_1$. В диагональ моста включено поляризованное реле P_1 типа $РП_4$ с током срабатывания 50 *мка*. Остальные плечи моста рассчитаны так, чтобы при сопротивлении параллельной цепочки, состоящей из двух фотосопротивлений, равном 750 *ком* (что соответствует освещенности 1 *лк*), мост был сбалансированным. В этот момент реле P_1 обесточено и якорь его находится в положении, соответствующем замыканию контактов *2* и *3*.

В случае дальнейшего уменьшения освещенности сопротивление фотосопротивлений увеличивается и разбаланс моста приведет к появлению в диагонали моста тока, протекающего в направлении от *б* к *а*, что вызовет срабатывание реле P_1. Последнее своими контактами *1* и *2* замкнет цепь питания промежуточного реле P_2 (электромагнитное реле постоянного тока типа МКУ-48 на 24 *в*), которое через контакты *5* и *6* подаст напряжение в цепь катушки магнитного пускателя, включающего освещение.

При возрастании естественной освещенности сопротивление фотосопротивлений уменьшится и разбаланс моста приведет к появлению в его диагонали тока, протекающего в обратном направлении, т. е. от *а* к *б*. При освещенности, несколько большей 1 *лк*, значение тока достигнет величины, достаточной для срабатывания реле P_1, и оно, перебросив якорь и разомкнув контакты *1* и *2*, обесточит цепь реле P_2. При этом разрывается цепь катушки магнитного пускателя и искусственное освещение выключается. Неоновая лампа *НЛ* является индикатором включения фотореле.

Все элементы схемы монтируются на небольшом шасси, на переднюю панель которого вынесены неоновая лампа, выключатель *Вк*, ручка настройки чувствительности (сопротивление R_3), выходные зажимы для подключения катушки магнитного пускателя и входные зажимы для подключения датчика. Последний выполнен в виде отдельного блока, состоящего из металлического герметизированного кожуха, в котором помещены фотосопротивления. Одна из сторон кожуха застеклена. Герметизация датчика осуществляется с помощью резиновых прокладок, что исключает попадание внутрь пыли и влаги. Фотосопротивления вставляются в октальные ламповые панельки, укрепленные на плоском основании. В случае применения герметизированных фотосопротивлений необходимость в герметизации кожуха отпадает. Датчик устанавливается на северной стене трансформаторной подстанции так, чтобы исключить его подсветку прямыми и отраженными лучами уличных светильников.

Трансформатор питания *Тр* собран на сердечнике из пластин Ш-19, толщина пакета 28 *мм*. Обмотки *I* и *II* содержат по 2 800 витков, а обмотка III состоит из 590 витков провода ПЭВ 0,2.

Достоинством описанного фотореле является его простота, надежность и высокая чувствительность при малых освещенностях (1—3 *лк*). Реле четко срабатывает при изменении освещенности и нечувствительно к колебаниям напряжения в электросети. Последнее достигается применением мостовой схемы и поля-

ризованного реле, для срабатывания которого необходимо изменение направления тока.

В качестве примера устройств второй группы можно привести схему фотореле, применяемого для управления общим освещением цехов на шелкопрядильной фабрике (рис. 40,*б*). Схема состоит из входного моста, электронного усилителя и реле, включающего магнитный контактор сети освещения. Датчиками освещенности служат два фотосопротивления типа ФС-К1, включенные в противоположные плечи моста. Мост питается от однополупериодного выпрямителя, собранного на германиевом диоде $Д_1$. Выходная диагональ моста подключена на вход электронного усилителя, выполненного на лампе $Л_1$.

При увеличении освещенности фотосопротивления $ФС_1$ и $ФС_2$ уменьшают свою величину, что приводит к разбалансу мостовой схемы и появлению отрицательного напряжения на сетке лампы $Л_1$. От этого напряжения лампа запирается и реле P_1, включенное в ее анодную цепь, размыкает контакты *1* и *2*, обесточивая нагревательный элемент теплового реле *РТ*, которое в свою очередь разрывает цепь магнитного контактора *К*, отключающего освещение.

При снижении естественной освещенности увеличение сопротивлений $ФС_1$ и $ФС_2$ приводит к появлению на сетке лампы положительного напряжения. Лампа отпирается и реле P_1 срабатывает, включая нагрев теплового реле, которое через 20—30 *сек* замыкает цепи катушки магнитного контактора *К*.

Анодная цепь лампы питается постоянным током от однополупериодного выпрямителя на диоде $Д_2$. Наличие в схеме теплового реле исключает срабатывание устройства от кратковременных изменений освещенности. В качестве включающего контакта теплового реле применен микропереключатель типа МП-1. Биметаллическая пластинка от теплового реле магнитного пускателя нагревается обмоткой, выполненной из нихромовой проволоки диаметром 0,2 и длиной 160 *мм*.

Регулировка устройства на срабатывание при заданной освещенности производится переменным сопротивлением R_3, на оси которого имеется указатель. Шкала отградуирована в люксах и имеет диапазон установки от 2 до 2 000 *лк*. Для получения такого диапазона необходимо, чтобы переменное сопротивление R_3 имело строго линейную характеристику, а реле P_1 было рассчитано на минимальный ток срабатывания. Сигнальная лампа *ЛС* служит индикатором срабатывания реле P_1 и облегчает регулировку на выбранную освещенность. В схеме предусмотрен переключатель *П* для переключения освещения с автоматического режима управления на ручное. Фотосопротивления монтируются в корпусе, который устанавливается на раму оконного проема в направлении естественного освещения.

Реле P_1 представляет собой обычное реле телефонного типа. Его обмотка (сопротивление обмотки 13—15 *ком*) выполнена из провода ПЭЛ 0,06 (наматывается до заполнения каркаса). Трансформатор питания *Тр* собран на сердечнике из пластин Ш-20, толщина пакета 24 *мм*. Обмотка *I* состоит из 2 200 витков провода ПЭЛ 0,2 с отводом от 1 270-го витка, обмотка *II* — из 1 000 витков ПЭЛ 0,1, и обмотка *III* — из 64 витков ПЭЛ 0,8.

Фотореле, схема которого приведена на рис. 40,*г*, может

применяться в качестве устройства как первой, так и второй группы. Собранная на одном из триодов лампы $Л_1$, она отличается простотой и небольшим количеством деталей. В качестве датчика применены параллельно включенные фотосопротивления *ФС* типа ФС-К1.

В случае уменьшения естественной освещенности величина этих сопротивлений увеличивается и на делителе, состоящем из сопротивлений *ФС*, R_2, R_3 и R_4, происходит перераспределение напряжений таким образом, что сетка лампы оказывается под отрицательным потенциалом, достаточным для ее запирания. Электромагнитное реле *Р*, включенное в анодную цепь лампы, обесточивается и своими контактами *4* и *5* включает цепь питания промежуточного реле (на схеме не показано), которое в свою очередь включает пульт управления уличным освещением.

При увеличении естественной освещенности на сетке лампы возникает положительный потенциал, лампа отпирается и реле *Р* срабатывает, отключая пульт освещения. Контакты *5—12* этого реле служат для включения и отключения цепей звуковой и световой сигнализации. Сигнальная лампа $ЛС_1$ (белая) сигнализирует о включении прибора, $ЛС_2$ (красная) — о включенном уличном освещении, а при ручном управлении — о необходимости включения пульта. Лампа $ЛС_3$ (зеленая) загорается в момент отключения уличного освещения.

Переключатель *П* служит для отключения звуковой сигнализации (звонка *Зв*) и одновременной ее подготовки к приему нового сигнала. Так, в нижнем его положении подается сигнал об отключении, а в верхнем — о включении освещения. Ввиду того, что в устройстве предусмотрено включение и отключение освещения при различных значениях естественной освещенности (отключение освещения производится при бóльших значениях естественной освещенности, чем включение), чувствительность устройства должна быть выше во время отключения. С этой целью в реле *Р* предусмотрены контакты *1* и *2*, увеличивающие чувствительность устройства в момент включения освещения путем введения в цепь делителя напряжения сопротивления R_3.

Прибор собирается на небольшом металлическом шасси, на лицевую панель которого выведены выключатели $Вк_1$ и $Вк_2$, переключатель *П*, а также все три сигнальные лампы. На заднюю панель прибора выведены зажимы *1—5* для подключения выносного фотодатчика и промежуточного реле. Регуляторы чувствительности R_3 и R_4 установлены внутри автомата и используются только при настройке, причем с помощью переменного сопротивления R_3 устанавливается порог срабатывания фотореле на отключение, а с помощью R_4 — на включение.

Минимальное значение освещенности, при котором происходит срабатывание фотореле, лежит в пределах нескольких сотых долей люкса. Диапазон регулировки прибора допускает использование его на заводах, в учреждениях и других местах, где необходимо точное согласование момента включения или отключения искусственного освещения.

Фотодатчик, собранный в герметичном кожухе со стеклянным окном, соединяется с электронным блоком трехжильным кабелем с разъемом. Фотосопротивления вставляются в ламповые

панельки, укрепленные на металлическом основании. Вместе с фотосопротивлениями в датчике помещено двухваттное сопротивление R_{11} (включается выключателем $Вк_1$), служащее для подогрева фотодатчика в зимнее время.

В приборе используется реле типа РКН с током срабатывания 2—3 *ма*. Возможно применение и других типов реле (РПН, РСМ, МКУ-48). Трансформатор питания *Тр* взят от радиоприемника АРЗ. Можно, конечно, применить и самодельный трансформатор мощностью 15—20 *вт*.

18. Фотореле для открывания дверей

Одним из интересных применений фотореле является автоматическое управление открыванием дверей. Такой способ использования фотореле получил широкое распространение за рубежом и, надо сказать, полностью себя оправдал.

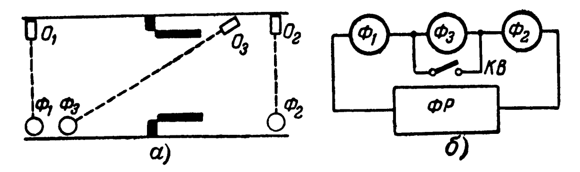


Рис. 41. Автоматическое открывание дверей с помощью фотореле.

а — расположение осветителей и фотоголовок; *б* — схема соединения фотоголовок.

В цехах промышленных предприятий, на складах, в гаражах, автоматическое открывание дверей при подходе транспорта оказывается очень удобным и экономит рабочее время. Для этого двери снабжаются электромеханическим или пневматическим приводом, который управляется с помощью фотореле, срабатывающих при пересечении светового пучка, падающего на фотоприемник. Фотоприемник и осветитель могут быть установлены как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости.

Чтобы предотвратить преждевременное закрывание дверей после того, как прерванный пучок света восстановится, принимают различные меры. Одной из таких мер является применение реле времени, которое обеспечивает фиксацию дверей в открытом положении в течение некоторого времени. Однако в этом случае необходимо иметь два фотоприемника и осветителя, которые располагаются по обе стороны дверей.

Другим способом является применение трех последовательно соединенных фотоприемников и трех осветителей, расположенных особым образом (рис. 41). Фогоголовки $Ф_1$ и $Ф_2$ и соответствующие им осветители O_1 и O_2 располагаются по обе стороны дверей. На участке между указанными осветителями располагается третий осветитель O_3 так, что его пучок пересекает по диагонали соответствующее пространство и попадает на фотоголовку $Ф_3$, которая при закрытых дверях блокируется концевым выклю-

чателем *КВ* створки двери. При подходе транспорта с любой стороны закрытой двери пересекается пучок осветителя O_1 или O_2 и так как фотоприемники соединены последовательно, фотореле срабатывает, воздействуя на привод дверей.

В момент открытия двери фотоприемник головки Φ_3 деблокируется, но тотчас же засвечивается пучком осветителя O_3. Диагональное расположение этого пучка обеспечивает фиксацию дверей в открытом состоянии до момента пересечения пучка, падающего на фотоприемник, расположенный по другую сторону двери. Таким образом, дверь останется открытой, пока хоть один из световых пучков будет пересечен.

Взаимное расположение фотоприемников и осветителей может изменяться в зависимости от конструкции дверей. При применении фотореле с реле времени высота установки фотоприемников и осветителей над уровнем пола не играет никакой роли, так как после восстановления прерванного пучка начинает функционировать реле времени. В случае использования схемы с диагональным расположением пучка осветители и фотоголовки располагаются в горизонтальной плоскости, причем высота их от уровня пола выбирается такой, чтобы транспорт во время проезда через открытые двери пересекал в любой момент хотя бы один из пучков какого-либо осветителя.

19. Фотореле на службе техники безопасности

В связи с быстрым развитием машиностроения, приведшим к созданию большого количества различных типов быстродействующего производственного оборудования, механические защитные устройства, а также электрические способы блокировки оказываются все менее и менее способными выполнять функции защиты. Так, например, различные решетки, ограждающие опасную зону оборудования, универсальные, прутковые и другие ограждения, двуручное кнопочное или рычажное включение пресса обладают значительными недостатками, снижающими производительность труда, требуют порой значительных физических усилий и излишних движений рабочего и, главное, не всегда гарантируют его безопасность. Применение фотоэлектрических защитных устройств исключает ряд указанных недостатков и при правильной эксплуатации обеспечивает безопасность работы и повышение производительности труда. Фотореле позволяет создать защитные устройства, приспособленные к специфическим условиям любого производства без малейшего вмешательства в существенные элементы конструкции машин.

Сущность работы защитных фотоавтоматов заключается в том, что опасная зона оборудования ограждается световым барьером, прерывание которого приводит к срабатыванию фотореле и к практически мгновенному останову оборудования. Необходимым условием получения эффективного защитного устройства является правильное формирование светового барьера. В этом случае, как правило, пользуются немодулированным светом широкого спектрального состава. Чтобы иметь возможность отличать свет защитного устройства от цехового освещения, может возникнуть необходимость в применении монохронометри-

ческого или модулированного света. В ряде случаев применяют инфракрасные фильтры с целью создания невидимого луча.

Для получения светового барьера небольшой «высоты» обычно устанавливают два или три ряда осветителей и фотоголовок друг над другом, причем фотоприемники последних соединяются последовательно. В случае, если необходимо получить световой барьер, имеющий значительную протяженность по вертикали (световая завеса), то можно воспользоваться двумя зеркалами $З_1$ и $З_2$, как показано на рис. 42. Сзади одного из зеркал, против места, очищенного от отражающего слоя, устанавливается осветитель *О*. Фотоголовка *Ф* устанавливается в верхней части таким образом, чтобы пучок света после многократного отражения от поверхности обоих зеркал попадал на фотоприемник. При небольшом угле наклона осветителя световая «сетка» между зеркалами может быть получена довольно частой и попадание даже небольшого предмета в поле завесы вызовет срабатывание фотореле.

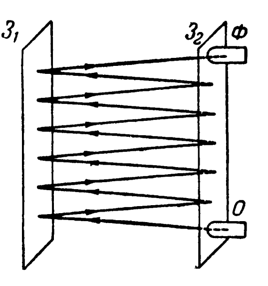


Рис. 42. Схема устройства световой завесы с помощью двух зеркал.

Схемы фотоэлектрических защитных устройств должны иметь сигнальные лампы, указывающие на исправность или неисправность схемы, а также обеспечивать практически мгновенный останов оборудования при неисправностях схемы

Принципиальная схема простого фотоэлектрического защитного устройства для прессов с соленоидным включением изображена на рис. 43. В качестве фотоприемников применены фотосопротивления $ФС_1$ и $ФС_2$ типа ФС-А1, последовательно с которыми включено чувствительное промежуточное реле $Р_1$ типа РП-4, питаемое от выпрямителя $В_1$. Выходное реле $Р_2$ типа МКУ-48 питается от отдельного выпрямителя $В_2$, что повышает устойчивость всего устройства

Устройство работает следующим образом. В рабочем состоянии, когда оба фотосопротивления освещены, реле $Р_1$ своими нормально открытыми контактами *1* и *2* замыкает цепь выходного реле $Р_2$. Последнее своими нормально открытыми контактами *3* и *4* замыкает цепь исполнительного реле *РИ*, контакты которого *8* и *9* включены последовательно с соленоидом. В таком состоянии схемы нажатие педали приводит к включению соленоида, и пресс срабатывает. Одновременно нормально открытые контакты *5* и *6* реле $Р_2$ включают сигнальную лампу $ЛС_1$, сигнализирующую о нормальной работе устройства.

При прерывании светового пучка хотя бы одного из осветителей реле $Р_1$ разрывает цепь питания реле $Р_2$. Последнее в свою очередь разрывает цепь катушки исполнительного реле, и тогда случайное нажатие на педаль не приводит к включению соленоида. Размыканием контактов *5* и *6* отключается сигнальная лампа $ЛС_1$, а замыканием нормально замкнутых контактов *6* и *7* включается лампа $ЛС_2$, предупреждая, что руки находятся

в опасной зоне. По требованиям техники безопасности, фотореле питается от источника низкого напряжения (36,*в*).

Описанное устройство выполнено в виде двух блоков и сигнальной панели. Блок фотодатчиков монтируется на П-образном кронштейне, который крепится к столу пресса двумя шпильками. На одной стороне кронштейна по вертикали располагаются два осветителя, а на другой две фотоголовки, ограждающие световым барьером опасную зону. Вблизи от рабочего места на виду устанавливается сигнальная панель, на которой расположены обе

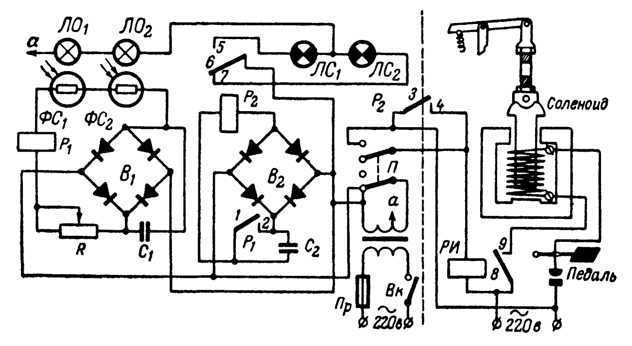


Рис. 43. Схема фотоэлектрического защитного устройства.

сигнальные лампы и переключатель *П*, служащий для отключения фотореле. Остальные детали схемы смонтированы на отдельном шасси.

В случае применения защитного устройства для кривошипных прессов контакты выходного реле включаются в цепь тягового электромагнита, управляющего пуском пресса.

Другим применением фотореле для техники безопасности является контроль чистоты атмосферы в производственных помещениях. Вредные газы часто являются побочными продуктами производственных процессов, которые сами по себе безвредны. Кроме того, на химических предприятиях технологические процессы связаны с потреблением или производством различных летучих веществ, даже небольшие концентрации которых представляют опасность для здоровья обслуживающего персонала. Для сигнализации о достижении предельно допустимых значений концентрации таких веществ широко применяются фотоэлектрические газоанализаторы. Эти приборы, основанные на принципах, изложенных в § 13, по устройству оптического тракта сложнее обычных фотореле, и поэтому их конструирование в радиолюбительских условиях представляет определенные трудности. То же самое можно сказать о фотоэлектрических пылемерах, которые применяются для контроля запыленности атмосферы производственных помещений.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЕКОТОРЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ, ФОТОЭЛЕМЕНТОВ И ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЙ

1. Лампы накаливания

Тип лампы	Номинальные значения				Срок службы, *ч*	Диаметр колбы, *мм*	Полная длина, *мм*
	Напряжение, *в*	Мощность, *вт*	Световой поток, *лм*	Световая отдача, *лм/вт*			
А3	6	14,3	190	13,3	200	26	51
А18	6	7,73	75,4	9,75	300	20	37
А26	12	18,6	264	14,2	200	26	51
СЦ41	6	7	90	12,9	15	20	39
СЦ61	8	20	250	12,5	100	21	56
СЦ62	12	100	1 750	17,5	75	56	91
СЦ64	12	50	1 000	20,0	50	36	68
СЦ68	8	30	465	15,5	100	31	86
СЦ69	6	25	340	13,5	100	33	67
Мн3	2,5	0,35	2	—	40	12	24
Мн4	2,5	0,7	4	—	250	16	30
Мн10	2,5	1,8	12	—	300	23	44
Мн15	6,3	1,6	8	—	300	11	28,5

2. Фотоэлементы

Тип фотоэлемента	Область спектральной чувствительности, *мк*	Максимум спектральной чувствительности при длине волны, *мк*	Рабочее напряжение, *в*	Интегральная чувствительность (наименьшая), *мка/лм*	Темновой ток (наибольший), *а*
ЦВ-1, ЦВ-3, ЦВ-4	0,6—1,1	0,8±0,1	240	20	$1\cdot10^{-7}$
ЦГ-1, ЦГ-3, ЦГ-4	0,6—1,1	0,8±0,1	240	100*	$1\cdot10^{-7}$
Ф-1	0,215—0,6	0,38±0,05	100	70	$1\cdot10^{-14}$
Ф-2	0,3—0,6	0,39±0,05	100	15	$1\cdot10^{-8}$
Ф-3	0,32—0,75	0,5±0,05	100	40	$1\cdot10^{-9}$
Ф-6	0,32—0,75	0,5±0,05	100	40	$1\cdot10^{-11}$
Ф-7	0,215—0,3	0,225±0,005	100	—	$1\cdot10^{-11}$

* 75 *мка/лм* для ЦГ-1.

3. Фотосопротивления

Тип фотосопротивления	Максимум спектральной чувствительности, *мк*	Длинноволновая граница фотопроводимости, *мк*	Рабочая площадь, *мм²*	Темновое сопротивление, *Мом*	Удельная чувствительность, *мка/лм·в*[1]	Пределы рабочего напряжения, *в*	Допустимая мощность рассеяния, *вт*	Средняя кратность изменения сопротивления[1]	Постоянная времени (в интервале частот 1—6 *кгц*)[2], *сек*	Средний температурный коэффициент фототока в интервале температур от 0 до +40° С, %/°С
ФС-АО, ФС-А1, ФС-А4	2,1	2,7	24	0,04—0,4	500	4—60	0,002	1,2	$4\cdot10^{-5}$	—1,5
ФС-А6	2,1	2,7	125	0,05—0,3	500	5—30	0,01	1,2	$4\cdot10^{-5}$	—1,5
ФС-КО, ФС-К1	0,6	0,9	28,8	≥10	6 000	400	0,2	140	$2\cdot10^{-2}$	—0,2
ФС-К2	0,52	0,9	28,8	≥1,0	2 500	300	0,15	35	$3\cdot10^{-2}$	—0,12
ФС-К4	0,6	0,9	24	10	6 000	400	0,2	140	—	—0,2
ФС-К5	0,6	0,9	1	≥5,0	6 000	100	0,05	140	—	—0,2
ФС-К6	0,6	0,9	125	≥2,0	6 000	300	0,3	140	—	—0,2
ФС-К7	0,6	0,9	200	0,05; 2,5	3 500	100	0,5	7,5	—	—0,2
ФС-ДО, ФС-Д1	0,75	1,22	28,8	≥5,0	30 000	300	0,05	1 000	$3\cdot10^{-3}$	—1,5

[1] При освещенности 200 *лк*.

[2] При световом потоке 10^{-5} *лм*.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 19 коп.